

**Élio Pedro Quintas da Silva**

**Recursos hídricos subterrâneos e potenciais focos de  
contaminação na Bacia do Rio Uíma, Santa Maria da Feira: Um  
contributo para o ordenamento do território a nível municipal**

Dissertação realizada no âmbito do Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica e  
Ordenamento do Território orientada pelo Professor Doutor José Augusto Alves Teixeira

**Membros do Júri**

Professor Doutor Hélder Gil Iglésias de Oliveira Chaminé  
Instituto Superior de Engenharia do Porto

Professor Doutor António Alberto Teixeira Gomes  
Faculdade de Letras da Universidade do Porto

Professor Doutor José Augusto Alves Teixeira  
Faculdade de Letras da Universidade do Porto

**2015**

Classificação: 19 Valores

Versão definitiva



*Determinação, coragem e autoconfiança são fatores decisivos para o sucesso. Não importa quais sejam os obstáculos e as dificuldades. Se estamos possuídos de uma inabalável determinação, conseguiremos superá-los. Independentemente das circunstâncias, devemos ser sempre humildes, recatados e despidos de orgulho.*

**Tenzin Gyatso Dalai Lama In O Livro de Dias**





## AGRADECIMENTOS

Expresso os meus sinceros agradecimentos,

Ao Professor Doutor José Augusto Alves Teixeira (FLUP), pela disponibilidade e acompanhamento, como orientador nesta longa etapa. A sua personalidade calma, assertiva e sorridente, bem como o seu rigor científico em torno dos recursos hídricos subterrâneos, levou a que primasse pela qualidade das metodologias e resultados obtidos. Para além de orientador, um amigo.

Ao Professor Doutor António Alberto Gomes, (FLUP), pela disponibilidade e amizade demonstrada, bem como pelas leituras atentas e chamadas de atenção, para que evoluísse como pessoa, mas também como investigador.

Ao Mestre Rui Gomes (C. M. Castelo de Paiva), meu amigo e companheiro nos bons e maus momentos desta longa etapa, pelas palavras de conforto e incentivo e pela troca de conhecimentos relativo à temática das águas subterrâneas.

Aos presidentes de junta de freguesia de Lourosa, Armando Teixeira, de Fiães, António Valdemar Ribeiro e de São João de Vêr, Amaro Araújo pelo interesse no trabalho realizado e pelas informações dadas, acerca da localização de nascentes e potenciais focos de contaminação.

Aos amigos e colegas de Mestrado, em especial à Elisabete Capelo, Mafalda Lopes, Marlene Costa, Ana Faria, Joana Fernandes e Ana Sofia Oliveira, por me “aturarem” nos momentos difíceis e pelas palavras de apoio e incentivo, partilha de experiências, conhecimentos e espírito de entreajuda.

Aos amigos, Vasco Cruz e Fábio Rocha pelo companheirismo, amizade, apoio e acompanhamento, em campo, na descoberta de nascentes e potenciais focos de contaminação.

Aos meus amigos de “tenra” idade, especialmente ao Sr. Armindo Carneiro, Sr. Joaquim Santos e ao Sr. Manuel Coelho, pela ajuda preciosa, no trabalho de campo e na descoberta de nascentes.

Aos meus pais pelo carinho, apoio, confiança, compreensão, reconhecimento e palavras de incentivo que me deram durante esta longa etapa, tendo por vezes aceitado o “não”, como resposta às diversas tarefas a que estão associados.

Ao meu irmão, Rúben, pelo seu espírito aventureiro e guerreiro na procura de nascentes, ao longo de diversas idas ao campo.

Finalmente, à Fabiana, a outra metade deste “eu”, por ter aturado os meus maus momentos, as minhas teimas, os meus dilemas, tendo sempre sido um bom “porto”. O seu sorriso, compreensão, ajuda e palavras de incentivo foram cruciais em todos momentos desta longa etapa.

A todos dedico esta dissertação.

## RESUMO

A presente investigação compreende uma abordagem multidisciplinar referente ao tema dos recursos hídricos subterrâneos e dos seus potenciais focos de contaminação. A área de estudo correspondeu a um setor da bacia do Rio Uíma, Santa Maria da Feira, onde se pretende obter e interpretar padrões da distribuição dos recursos hídricos subterrâneos e potenciais focos de contaminação.

A metodologia aplicada consistiu, numa primeira fase, nas pesquisas e recolhas de dados bibliográficos e documentais inerentes ao tema das águas subterrâneas, bem como a análise da cartografia militar de 1998 para a identificação dos diversos indicadores relativos aos recursos hídricos subterrâneos da área de estudo. Esta informação foi vetorizada e, paralelamente efetuou-se o pré-processamento da diversa informação em formato vetorial e *raster* relativamente a área de estudo e a vetorização do uso de solo através das fotografias aéreas de 1974 e através dos ortofotomapas de 2005, tendo servido de apoio à análise da área de estudo. Seguidamente, numa segunda fase, criou-se duas fichas de inventários para serem utilizadas, em contexto de trabalho de campo. A primeira ficha corresponde a inventariação dos recursos hídricos subterrâneos para o registo das nascentes e divide-se em localização, condições de ocorrência, geomorfologia, enquadramento geológico, hidrogeológico e hidroclimático, outras observações e utilização. A segunda ficha corresponde a inventariação dos potenciais focos de contaminação dos recursos hídricos subterrâneos para os registos dos possíveis focos de contaminação e está estruturada da seguinte forma: localização, geomorfologia, enquadramento geológico e hidrogeológico, descrição sucinta do foco de contaminação e descrição do(s) contaminante(s). Na terceira criaram-se duas bases de dados (BD) tendo-se agrupado e gerado uma Base de dados espacial (BDE), no qual se relacionou os dados recolhidos com outros parâmetros designadamente a geologia, o ocupação do solo de 1974 e 2005, os declives e as exposições, o que permitiu realizar diversa cartografia temática em ambiente SIG, bem como distintas operações de análise espacial.

Esta investigação pretende alertar para a importância da inventariação e conhecimento dos recursos hídricos subterrâneos, potenciais focos de contaminação e áreas vulneráveis à contaminação de aquíferos, de forma a contribuir para uma valorização, gestão e proteção adequada do recurso água, criando suportes cartográficos e base de dados que apoiem os processos de decisão, contribuindo assim, para um ordenamento do território à escala municipal capaz de responder aos atuais problemas no panorama das águas subterrâneas.

**Palavras-chave:** Recursos Hídricos Subterrâneos; Potenciais focos de contaminação; Vulnerabilidade dos aquíferos; SIG; Ordenamento do Território;

## ABSTRACT

The present investigation is a multidisciplinary approach focused on groundwater resources and the potential contamination evaluation. The study area is a sector of the Rio Uima basin, Santa Maria da Feira municipality, where it is intended obtain and interpret patterns in the distribution of groundwater resources and potential contamination sources.

The methodology consisted in a first phase, the search of bibliographic and documental data related to groundwater as well as the analysis of military cartography of 1998 for the identification the various indicators related to groundwater resources of the study area. This information was vectorized and, in parallel the pre-processing of several information (in raster and vectorial format) took place. Also was done, this phase, the vectorization of the land use through the air photographs of 1974 and through the ortophotomaps of 2005. Continuously, in a second phase, two field inventory datasheets were created, and were used in context of field work. The first datasheet corresponds to the inventory of groundwater resources. It was intended to register the springs characteristics, namely location, occurrence conditions, geomorphology, geological, hydrogeological and hydroclimatological framework, use and other observations. The second datasheet corresponds to the inventory of the potential focuses of contamination of the groundwater resources. In this datasheet is registered the location, geomorphology, geological and hydrogeological framework, succinct description of the focus of contamination and description of the contaminant (s). In the third phase two databases were created with the datasheet, and grouped into one large Geo-database. This Geo-database is the source for the spatial analysis, relating the collected data with other parameters namely the geology, the land use of 1974 and 2005, the slope and the aspect, that allowed to produce several thematic maps in GIS environment SIG.

This research intends to alert for the importance of inventorying and knowledge of groundwater resources, potential sources of contamination and areas vulnerable to contamination of aquifers in order to contribute to a valuation, management and adequate protection of water resources. Also intends to create cartographic and database support to decision-making processes, thus contributing to land-use planning at the municipal level, dealing with the current problems related to groundwater.

**Keywords:** Groundwater resources; potential sources of contamination; aquifers vulnerability; GIS; Land-use planning;

## **ACRÓNIMOS**

BD – Base de Dados

BDE – Base de Dados Espacial

IPMA – Instituto Português do Mar e da Atmosfera

SIG – Sistemas de Informação Geográfica

GPS – Global Position System (Sistema de Posicionamento Global)

IGEOE – Instituto Geográfico do Exército

IGP – Instituto Geográfico Português

MDT – Modelo Digital de Terreno

MH – Maciço Hespérico

ZOM – Zona Ossa-Morena

ZCI – Zona Centro Ibérica

CAOP – Carta Administrativa Oficial de Portugal

SGBD – Sistema de Gestão de Base de Dados

IS – Índice de Suscetibilidade

LNEG – Laboratório Nacional de Energia e Geologia

DGEG – Direção Geral de Energia e Geologia

# ÍNDICE

AGRADECIMENTOS.....	I
RESUMO .....	II
ABSTRACT .....	III
ACRÓNIMOS.....	IV
ÍNDICE .....	V
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
ÍNDICE DE QUADROS .....	XI
ÍNDICE DE ANEXOS.....	XI
CAPÍTULO I.....	1
1 – INTRODUÇÃO GERAL .....	2
1.1 – CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	2
1.2 – OBJETIVOS .....	2
1.3 – ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO .....	3
1.4– ENQUADRAMENTO TEÓRICO.....	4
1.4.1 – Generalidades.....	4
1.4.2 – Distribuição da Água pela Terra .....	5
1.4.3 – Ciclo Hidrológico.....	5
1.4.4 – Águas Subterrâneas.....	6
1.4.5 – Vulnerabilidade das Águas Subterrâneas.....	17
1.5 – ENQUADRAMENTO DA ÁREA DE ESTUDO .....	20
1.5.1 – Enquadramento Geográfico .....	20
1.5.2 – Geotectónica, Geomorfologia e Geologia da área de estudo .....	21
1.5.3 – Hidrografia e Climatologia da bacia do rio Uíma .....	26
CAPÍTULO II .....	31
2 – MÉTODOS, TÉCNICAS E EQUIPAMENTOS .....	32
2.1 – CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	32
2.2 – PESQUISA BIBLIOGRÁFICA E CARTOGRÁFICA .....	33

2.3 – DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	35
2.4 – TRATAMENTO E PRÉ-PROCESSAMENTO DE INFORMAÇÃO VETORIAL E <i>RASTER</i> .....	36
2.5 – ELABORAÇÃO DAS FICHAS DE INVENTÁRIO DOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS E POTENCIAIS FOCOS DE CONTAMINAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS.....	40
2.6 – TRABALHO DE CAMPO .....	44
2.7 – BASE DE DADOS ESPACIAL – <i>HIDROUÍMAPFC</i> .....	50
CAPÍTULO III.....	53
3 – RESULTADOS.....	54
3.1 – RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS .....	54
3.1.1 – Distribuição dos indicadores de Água Subterrânea na área de estudo .....	54
3.1.2 – Hipsometria da localização das Nascentes .....	55
3.1.3 – Geomorfologia e as Nascentes .....	57
3.1.4 – Tipo de emergência das Nascentes.....	58
3.1.5 – Utilização da Água das Nascentes .....	59
3.1.6 – Temperatura do Ar e Humidade Relativa .....	61
3.1.7 – Propriedades Organoléticas e Caudal.....	63
3.1.8 – Análise físico-químicas das Nascentes .....	65
3.1.9 – Cruzamento dos dados Físico-Químicos (Condutividade Elétrica, pH e Temperatura da Água).....	69
3.2 – ANÁLISE ESPACIAL DOS PARÂMETROS DA ÁGUA .....	71
3.2.1 – Espacialização da Condutividade Elétrica, Temperatura da Água, pH e Caudal....	71
3.2.2 – Espacialização da variação da Temperatura da água com a Temperatura do ar .....	74
3.3 – CRUZAMENTO DOS DADOS DO INVENTÁRIO <i>HIDROUÍMA</i> COM OUTROS PARÂMETROS .....	75
3.3.1 – Hidrogeologia / Localização das nascentes.....	76
3.3.2 – Ocupação do Solo / Localização das nascentes .....	77
3.3.3 – Declives / Localização das nascentes.....	79

3.4 – POTENCIAIS FOCOS DE CONTAMINAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS.....	80
3.4.1 – Distribuição dos Potenciais Focos de Contaminação na área de estudo .....	80
3.4.2 – Tipo de Potenciais Focos de Contaminação dos Recursos Hídricos Subterrâneos .	82
3.4.3 – Espacialização do Potencial de Contaminação das Águas Subterrâneas .....	84
3.5 – CRUZAMENTO DOS DADOS DO INVENTÁRIO <i>PFCUÍMA</i> COM OUTROS PARÂMETROS .....	86
3.5.1 – Hidrogeologia / Potenciais Focos de Contaminação.....	86
3.5.2 – Ocupação do Solo / Potenciais Focos de Contaminação.....	87
3.6 – VULNERABILIDADE DOS AQUÍFEROS: UM CONTRIBUO PARA O ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO A NÍVEL MUNICIPAL.....	88
3.7 – MÉTODO IS .....	89
3.7.1 – Vulnerabilidade das águas Subterrâneas em 1974 e 2005 .....	92
3.8 – CRUZAMENTO DOS DADOS DA BDE <i>HIDROUÍMAPFC</i> .....	95
3.8.1 – IS 2005 / Localização das Nascentes .....	95
3.8.2 – IS 2005 / Potenciais Focos de Contaminação / Potencial de Contaminação das Águas Subterrâneas .....	96
CAPÍTULO IV.....	99
4 – CONCLUSÕES .....	100
4.1 – Considerações Finais.....	100
4.2 – Perspetivas Futuras.....	102
CAPÍTULO V .....	103
5 – BIBLIOGRAFIA .....	104
5.1 – Referências Bibliográficas .....	104
5.2 – Webgrafia.....	113
ANEXOS .....	115

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema concetual da dissertação .....	4
Figura 2 - Distribuição da água na terra .....	5
Figura 3 - Esquema sistemático do Ciclo da Água.....	6
Figura 4 - Exemplo de tempos de residência das águas nos sistemas aquíferos .....	7
Figura 5 - Zonas de circulação de água e subsolo .....	9
Figura 6 - Circulação de água nos meios fissurados, porosos e cárlicos .....	11
Figura 7 - Tipologia dos Aquíferos .....	12
Figura 8 - Escala de pH.....	13
Figura 9 - Esquema típico da estrutura pedológica e geológica, em maciços cristalinos.....	15
Figura 10 - Nascentes dos Maciços Cristalinos – A) Nascentes associadas a falhas; B) Nascentes associadas a zonas fraturadas; C) Nascentes associadas a fraturas e diaclasamentos .....	16
Figura 11 - Ocorrência de água subterrânea, ligada a lineamentos tectónicos.....	16
Figura 12 - Enquadramento da área de estudo .....	20
Figura 13 - A) Aspeto dos Micaxistos na Unidade de São João de Vêr, no lugar do Areal (São João de Vêr. B) Aspeto dos granitos gnaíssicos, bastante alterados na antiga pedreira dos Lima, no lugar de Além (Lourosa). .....	23
Figura 14 – A) Enquadramento geotectónico; B) Enquadramento das zonas do MH, na área de estudo; C) Enquadramento morfo-estrutural da área de estudo .....	25
Figura 15 - Enquadramento hidrográfico da área de estudo.....	26
Figura 16 – A) Distribuição da Precipitação média anual (mm) na Bacia hidrográfica do Rio Uíma e respetiva área de estudo; B) Precipitação média anual (1933-1984) na estação meteorológica de Fiães; C) Precipitação média mensal (1933-1984) na estação meteorológica de Fiães; D) Balanço Hídrico (1956-1971) da estação meteorológica de Estarreja.....	29
Figura 17 - Esquema metodológico seguido no estudo das águas subterrâneas e potenciais focos de contaminação num setor da Bacia Hidrográfica do Rio Uíma .....	33
Figura 18 - Alguns livros e revistas consultadas para a identificação de elementos relacionados com os recursos hídricos subterrâneos existentes na área em estudo .....	34
Figura 19 - Alguns exemplos de fontes identificadas na revista “Ufilanis Villa”: A) Fonte do Grandal; B) Fonte do Souto; C) Fonte da Costa .....	34
Figura 20 - Localização de indicadores de água subterrânea assinalados na cartografia militar de 1998, na área de estudo .....	35
Figura 21 - Delimitação, freguesias e toponímia da área de estudo.....	36
Figura 22 - Esquema metodológico da construção de um MDT – Modelo Digital de Terreno e extração de informações relativas a área de estudo. A) Modelo Numérico de Elevação; B) Rede Irregular de	



triângulos; C) Modelo matricial GRID; D) Declives em °; E) Relevo sombreado; F) Exposição das vertentes; G) Curvatura das vertentes.....	39
Figura 23 - A) Ficha de inventário dos recursos hídricos subterrâneos utilizada durante o trabalho de campo. B) Esquema da ficha de inventário dos recursos hídricos subterrâneos .....	42
Figura 24 - A) Ficha de inventário dos potenciais focos de contaminação utilizada durante o trabalho de campo. B) Esquema da ficha de inventário dos potenciais focos de contaminação dos recursos hídricos subterrâneos.....	43
Figura 25 - Aspectos do trabalho de campo: A) Preenchimento da ficha de inventário dos recursos hídricos subterrâneos na fonte do Grandal (Fiães); B) Obtenção da localização e topografia da fonte do Paço (Lourosa); C) Observação do sistema de fraturação na Pedreira dos Limas (Lourosa); D) Vista sobre o Rio Uíma no lugar do Engenho (Caldas de São Jorge); E) Vista desde o S. Bartolomeu (Sanguedo) sobre o vale do Rio Uíma, a cidade de Fiães e o topo do Souto Redondo; F) Afloramento do filão de quartzo junto às Termas das Caldas de São Jorge.....	44
Figura 26 - Alguns exemplos de recursos hídricos subterrâneos inventariados: A) Nascente da Relva Grande. B) Nascente do Monte Grande. C) Fonte das Termas. D) Presinha da Azenha. E) Presa Nova do Regadio. F) Nascente do Engenho .....	45
Figura 27 - Alguns exemplos de potenciais focos de contaminação. A) Bomba de combustível. B, C) Pequenas lixeiras de resíduos sólidos.....	45
Figura 28 - Esquema da preparação e realização do trabalho de campo / gabinete .....	46
Figura 29 - A) GPSmap 60CS da Garmin. B) Recipientes utilizados para a medição do caudal ½ litro, 1 litro e 5 litros .....	48
Figura 30 - A) Instrumento Hanna modelo HI 98129. B) Utilização do aparelho na medição dos parâmetros físico-químicos da água. C) Características do instrumento Hanna modelo HI 98129 relativo ao parâmetro físico-químico temperatura (°), pH e condutividade elétrica (µS/cm) .....	48
Figura 31 - Lista de potenciais focos de contaminação dos recursos hídricos subterrâneos .....	49
Figura 32 - Estrutura da BDE, com as Feature Dataset, as Feature Class dos temas criados e as entidades .....	52
Figura 33 - A) Distribuição dos indicadores de água subterrânea pela área de estudo, em 1998. B) Distribuição dos indicadores de água subterrânea pela área de estudo, em 2015. C) Evolução dos indicadores de água subterrânea entre 1998 e 2015 .....	55
Figura 34 - A) Localização das nascentes por classes hipsométricas. B) Dispersão das nascentes por altitude. C) Distribuição das nascentes e do território por altitude .....	57
Figura 35 - Geomorfologia e nascentes da área de estudo .....	58
Figura 36 - Emergência das nascentes na área de estudo .....	59
Figura 37 - A e B) Tanques de armazenamento de água proveniente das nascentes para uso agrícola .....	59
Figura 38 - Informação colocada junto dos fontanários municipais .....	60
Figura 39 - Utilização da água proveniente das nascentes .....	61

Figura 40 - Exemplo de águas subterrâneas com cor acinzentada e turva .....	64
Figura 41 - Caudal das nascentes .....	65
Figura 42 - Condutividade Elétrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) da água das nascentes .....	66
Figura 43 - pH da água das nascentes .....	67
Figura 44 - Temperatura da água ( $^{\circ}\text{C}$ ) das nascentes .....	68
Figura 45 - A) Relação entre o pH com a condutividade elétrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ); B) Relação entre a temperatura da água ( $^{\circ}$ ) com a condutividade elétrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ); C) Relação entre a temperatura da água ( $^{\circ}$ ) com o pH .....	70
Figura 46 - A) Espacialização da condutividade elétrica; B) Espacialização da temperatura da água; C) Espacialização do pH; D) Espacialização do caudal .....	73
Figura 47 - Espacialização da variação da temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) .....	75
Figura 48 - Unidades hidrogeológicas e localização das nascentes .....	77
Figura 49 - Uso do solo e localização das nascentes (COS nível 1) .....	78
Figura 50 - Declives e localização das nascentes .....	80
Figura 51 - Distribuição dos potenciais focos de contaminação na área de estudo.....	81
Figura 52 - Tipo de potenciais focos de contaminação .....	83
Figura 53 - Espacialização do potencial de contaminação das águas subterrânea .....	85
Figura 54 - Unidades hidrogeológicas e localização das potenciais focos de contaminação .....	86
Figura 55 - Ocupação do solo e localização das potenciais focos de contaminação .....	88
Figura 56 - Componentes do Índice de Suscetibilidade (IS).....	91
Figura 57 - Áreas vulneráveis à contaminação das águas subterrâneas, em 1974 .....	93
Figura 58 - Áreas vulneráveis à contaminação das águas subterrâneas, em 2005 .....	94
Figura 59 - IS 2005 e localização das nascentes .....	96
Figura 60 - IS 2005 e localização dos potenciais focos de contaminação pelo potencial de contaminação das águas subterrâneas.....	98

## ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 - Comportamento das formações geológicas relativo a água subterrânea.....	9
Quadro 2 - Classificação da Água segundo a Dureza .....	13
Quadro 3 - Classificação da mineralização e da qualidade das águas de acordo com a condutividade elétrica .....	14
Quadro 4 - Bases cartográficas usadas na dissertação.....	37
Quadro 5 - Valores médios de temperatura do ar, obtidos no <i>site</i> do IPMA para a Estação de Arouca	62
Quadro 6 - Valores médios de humidade relativa, obtidos no <i>site</i> do IPMA para a Estação de Arouca	63
Quadro 7 - Potencial de contaminação das águas subterrâneas associado ao potencial foco de contaminação.....	84
Quadro 8 - Classificação da vulnerabilidade.....	92
Quadro 9 - Variação da área vulnerável à contaminação dos aquíferos entre 1974 a 2005 .....	95

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 - Estruturação da Base de Dados <i>HidroUíma</i> .....	116
Anexo 2 - Estruturação da Base de Dados <i>PFCUíma</i> .....	117
Anexo 3 - Ficha de Inventário dos Recursos Hídricos Subterrâneos .....	118
Anexo 4 - Ficha de Inventário dos Potenciais Focos de Contaminação.....	119
Anexo 5 - Artigo em conferência nacional.....	120



## CAPÍTULO I

---

### INTRODUÇÃO GERAL

# **1 – INTRODUÇÃO GERAL**

## **1.1 – CONSIDERAÇÕES INICIAIS**

A presente dissertação corresponde a uma abordagem multidisciplinar sobre o tema da água subterrânea e ao mesmo tempo alerta para a importância da inventariação e conhecimento dos recursos hídricos subterrâneos, de forma a contribuir para a sua valorização, gestão e proteção adequada. Assim, através das novas tecnologias ligadas aos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) procurou-se criar suportes cartográficos e bases de dados que apoiassem os processos de decisão, contribuindo para o melhoramento do ordenamento do território à escala municipal.

## **1.2 – OBJETIVOS**

O objetivo geral desta dissertação corresponde à obtenção e interpretação de padrões na distribuição dos recursos hídricos subterrâneos, bem como na inventariação dos potenciais focos de contaminação e identificação de áreas vulneráveis à contaminação de aquíferos num setor da bacia do Rio Uíma.

Neste contexto, o objetivo geral desta dissertação apoia-se nos seguintes objetivos secundários:

- Inventariação e caracterização das nascentes na área de estudo, bem como a medição dos parâmetros físico-químicos (pH, condutividade elétrica, temperatura da água);
- Reconhecimento e inventariação dos diversos potenciais focos de contaminação na área em estudo;
- Criação de bases de dados (BD) através de fichas de inventário com os diversos recursos hídricos subterrâneos e os diversos potenciais focos de contaminação da área de estudo;
- Criação de uma base de dados espacial (BDE) com os dados obtidos das BD e outros elementos cartográficos;
- Interpretação da distribuição dos recursos hídricos subterrâneos e dos potenciais focos de contaminação pela área de estudo relacionados com a conjuntura morfo-estrutural, hidrogeologia, ocupação do solo e declives;
- Interpolação dos dados, provenientes das BD através de ferramentas de análise espacial;
- Aplicação do Índice de Suscetibilidade (IS) para a determinação das áreas vulneráveis à contaminação de aquíferos, em 1974 e 2005;
- Interpretação e identificação de aquíferos vulneráveis a problemas de contaminação;
- Construção de bases cartográficas de apoio ao ordenamento e planeamento do território, a nível municipal.

### 1.3 – ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação está organizada e estruturada em quatro capítulos.

O primeiro capítulo corresponde à introdução geral. Este capítulo encontra-se dividido em introdução, enquadramento teórico e caracterização da área de estudo. Desta forma, na introdução relata-se as considerações iniciais, os objetivos e a estrutura da dissertação (figura 1). No enquadramento teórico evidencia-se as principais revisões da literatura sobre o tema da água, com maior enfoque nas águas subterrâneas, potenciais focos de contaminação e vulnerabilidade dos aquíferos e nascentes à contaminação natural e antrópica. Por fim, na caracterização da área de estudo apresenta-se os enquadramentos geográficos, geológicos, geomorfológicos, hidrográficos e climatológicos.

O segundo capítulo condiz com os métodos e as técnicas utilizadas no decorrer desta dissertação e encontra-se dividido em quatro fases. Numa primeira fase analisar-se-á as cartas militares de 1998 relativamente à localização dos recursos subterrâneos na área de estudo. A segunda fase corresponderá ao pré-processamento da informação em formato vetorial e *raster* da área de estudo. A terceira fase incide no trabalho de campo, onde serão utilizados todos os materiais, técnicas e equipamentos para inventariação das nascentes, bem como os principais focos de contaminação. Numa quarta fase e última corresponderá à criação de duas BD através das informações procedentes das fichas de inventário, originando assim a construção de uma BDE, que servirá de apoio a toda a análise espacial subsequente.

O terceiro capítulo divide-se nos resultados e discussão, onde se exibem os principais resultados e as análises dos inventários anteriormente recolhidos, cruzando-os com a diversa informação acerca da área de estudo (geomorfologia, unidades hidrogeológicas, ocupação do solo e declives). Para além do cruzamento de informação, os resultados relativos aos parâmetros físico-químicos serão interpolados de modo a criar padrões de distribuição. Ainda neste capítulo aplicar-se-á uma análise multicritério, de modo a obter as áreas vulneráveis a problemas de contaminação de aquíferos.

O quarto e último capítulo corresponde às conclusões, para tal elaborar-se-á uma síntese explicativa com as principais conclusões da dissertação.

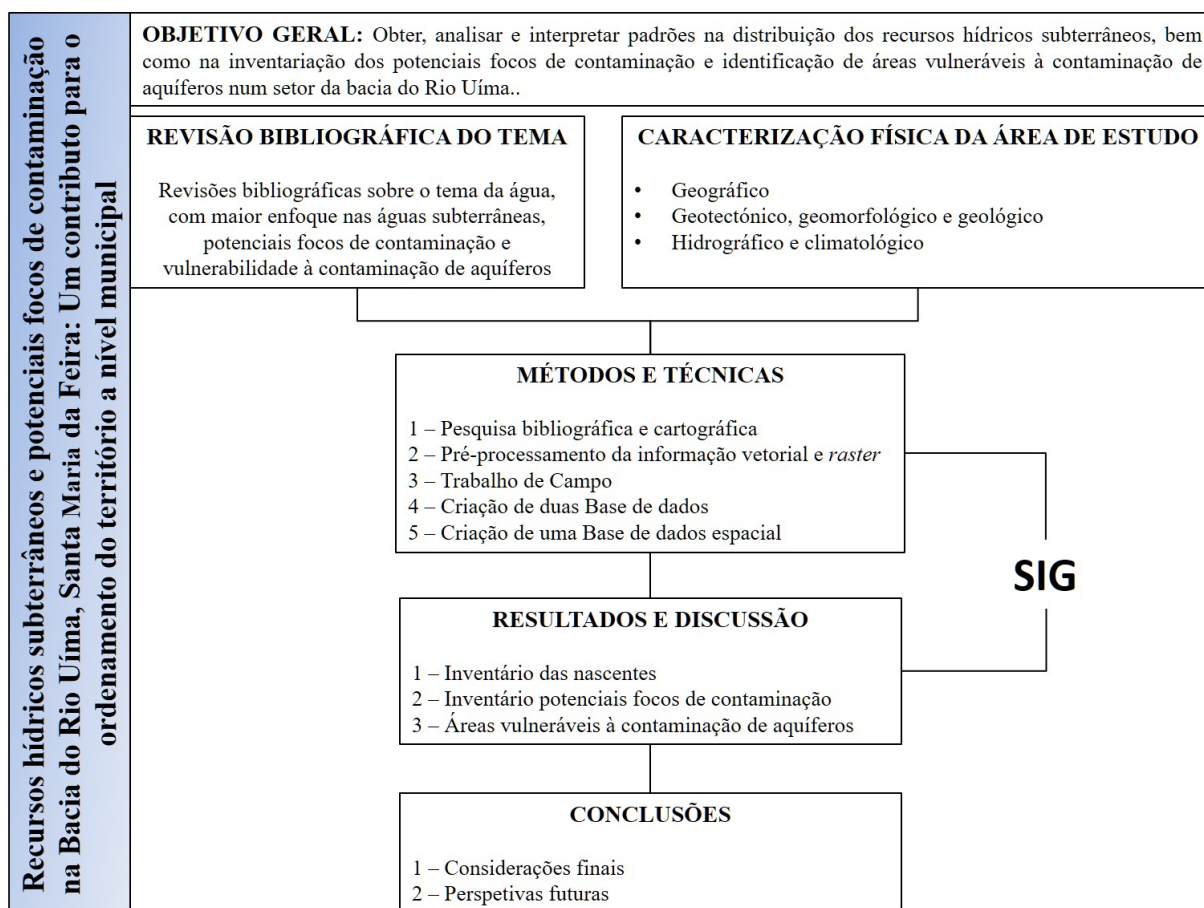


Figura 1 - Esquema concetual da dissertação.

## 1.4– ENQUADRAMENTO TEÓRICO

### 1.4.1 – GENERALIDADES

A água tem ao longo da história um papel crucial na subsistência da humanidade, condicionando o desenvolvimento de vastas regiões (Fetter, 2001). Dado este facto e segundo Hardcastle (1987), as primeiras sociedades desenvolveram-se nas proximidades de nascentes e riachos, criando assim uma íntima relação entre a água e a humanidade, prevalecendo até a atualidade (Tempelhoff et al. 2009).

Apesar da sua grande disponibilidade no Planeta, a água apresenta duas disparidades. A primeira incide na escassa disponibilidade de água com características próprias para o consumo humano e a segunda pela sua localização ser muito heterogénea. Dadas estas disparidades, atualmente a água assume um importante papel geoestratégico e geopolítico em diversos países e a várias escalas, mesmo ao nível municipal, onde as suas reservas são reduzidas.



Assim sendo, conhecer a quantidade e a qualidade de água disponível em determinado território torna-se cada vez mais útil para salvaguardar, preservar e proteger a sobrevivência das comunidades humanas, dos seres vivos e do próprio equilíbrio da Terra.

#### 1.4.2 – DISTRIBUIÇÃO DA ÁGUA PELA TERRA

Conforme se observa na figura 2, praticamente toda a água no planeta está contida nos oceanos (97%), correspondendo à água salgada e apenas uma pequena fração (3%) condiz com a água doce. No entanto, é necessário perceber que esta distribuição da água doce na Terra não é homogênea, visto que 77% desta está sob a forma de gelo e neve, 22% corresponde a águas subterrâneas e apenas 1% a águas superficiais, as quais estão disponíveis diretamente para a humanidade e para os outros seres vivos sob a forma de lagos e rios, ou como humidade presente nos solos e na atmosfera. Desta forma, excluindo a água que está em forma de gelo e neve, a água doce utilizável (subterrânea / superficial) representa cerca 23% de toda a água do planeta (Marsily, 1997; Fetter, 2001).

Como anteriormente referido, a água subterrânea corresponde a um recurso geológico de valor económico, social e político fragilizado, devido a questões relacionadas com a sua quantidade e com a qualidade (Sahuquillo, 2002; World Bank, 2004; Carvalho & Chaminé, 2007).

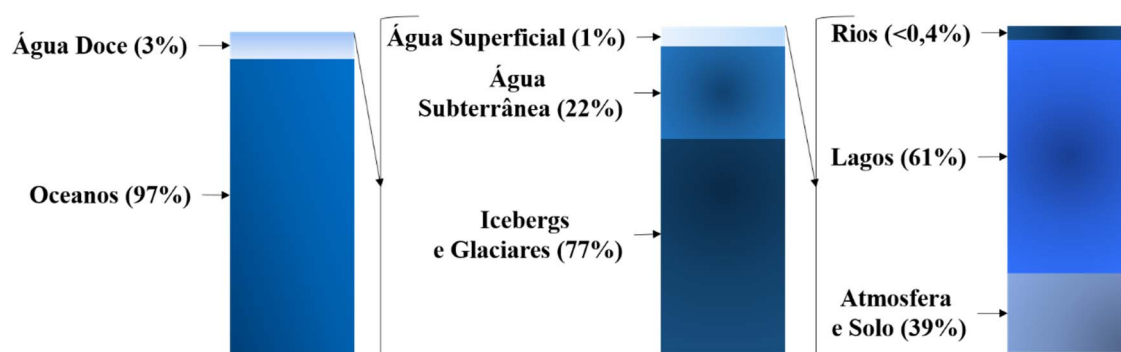


Figura 2 - Distribuição da água na terra (adaptado de Marsily, 1997).

#### 1.4.3 – CICLO HIDROLÓGICO

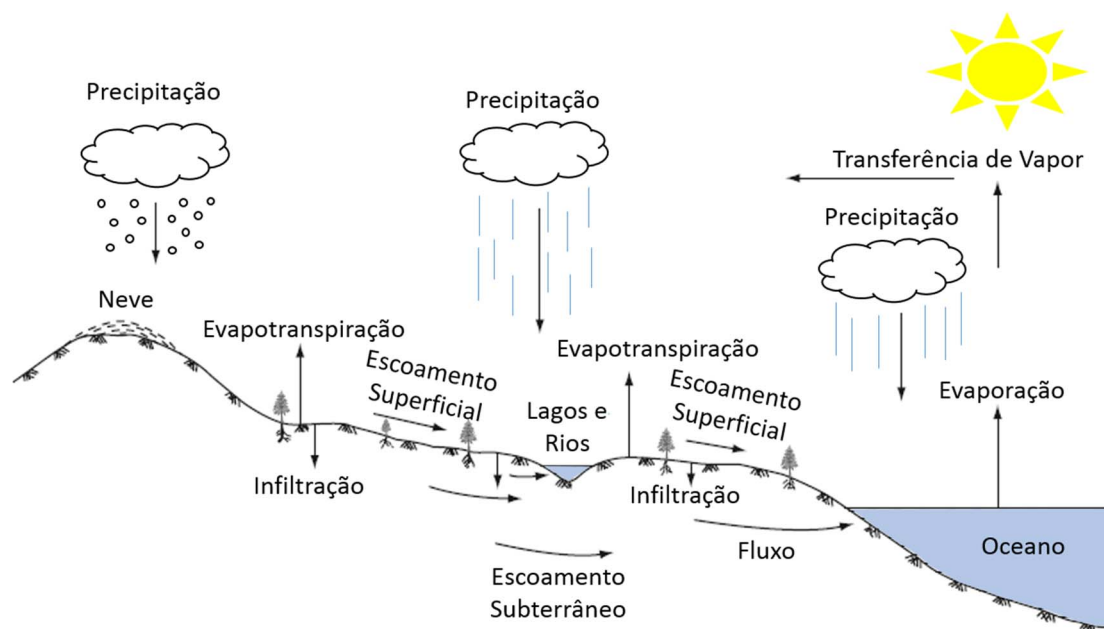
A água no planeta Terra está sempre em constante movimento, sendo na hidrosfera, atmosfera ou mesmo na circulação subterrânea (figura 3). Esse movimento é designado de Ciclo Hidrológico ou Ciclo da Água (Marsily, 1986; Custodio & Llamas, 2001)

O conceito de Ciclo Hidrológico define-se como um sistema dinâmico ligado ao movimento e à troca de água nos seus diferentes estados físicos (gasoso, líquido e sólido), originado assim uma renovação da água na Terra. Corresponde, também a um agente modelador da crosta terrestre, devido

ao facto da água ser um agente erosivo, responsável pelo transporte e deposição de sedimentos no fundo dos vales, o que condiciona a cobertura vegetal e a vida na Terra.

Este ciclo contínuo deve-se à ação do sol, visto que fornece a energia capaz de movimentar a água, localizada na superfície terrestre, para as altas camadas da atmosfera, em forma de vapor de água (evaporação), originando nuvens, que devido à gravidade e outros fatores, levam a que a água condense e caia sobre a forma de chuva, neve ou granizo (precipitação). A água, procedente da precipitação tem vários destinos: uma evapora-se novamente, outra atinge as massas de água superficiais através do escoamento superficial e outra parte infiltra-se nos solos ou nas rochas através dos poros, fraturas e fissuras até chegar aos aquíferos - escoamento subterrâneo (Rodrigues, 1984; Marsily, 1987; Hamblin & Christiansen, 1998; Fetter, 2001).

A velocidade e a quantidade de água nas várias etapas deste ciclo estão influenciadas pelas seguintes causas: topografia da superfície, tipo de solo e a sua geologia, cobertura vegetal e a altitude.



**Figura 3 - Esquema sistemático do Ciclo da Água (adaptado de Singhal & Gupta, 2010).**

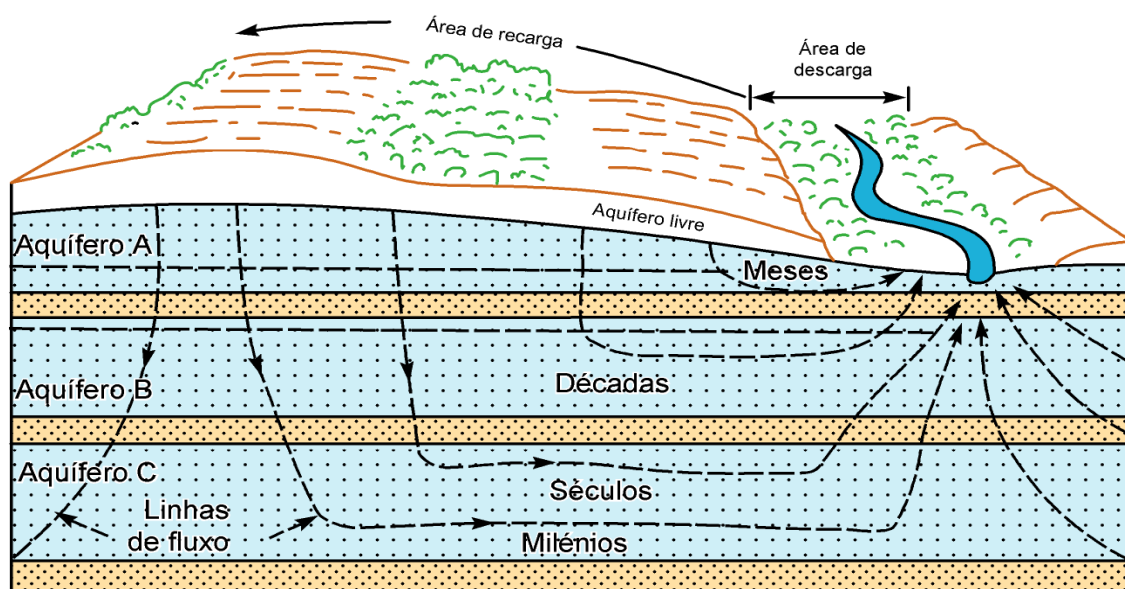
#### **1.4.4 – ÁGUAS SUBTERRÂNEAS**

Segundo Carvalho (2006), as águas subterrâneas correspondem à componente invisível e mais lenta do ciclo da água. O tempo decorrido entre a infiltração de uma gota de água na superfície topográfica (escoamento subterrâneo) até à sua ressurgência em nascentes, galerias, poços, furos, ou outras manifestações naturais ou forçadas, pode variar entre alguns meses a vários anos, podendo chegar às centenas ou milhares de anos no caso das águas minerais e termominerais de circuito lento (Fetter,

2001; Carvalho, 2006) (figura 4). Este ciclo é regido pela ação da gravidade, no entanto nas águas mais profundas pode ser conduzido por outros mecanismos (Fetter, 2001).

Dentro do ciclo hidrológico, a água subterrânea está dividida num subciclo, com três fases (figura 3). A primeira fase corresponde ao período de ocorrência da precipitação sobre a superfície topográfica. A segunda fase condiz com o processo de infiltração dessa água no solo, sendo que este varia de acordo com diversos fatores, nomeadamente o substrato rochoso, o tipo de cobertura vegetal, o tipo de solo e o declive. Na terceira fase observa-se a movimentação de água no subsolo até atingir a superfície topográfica. Em suma, a água infiltra-se na zona de recarga e abandona este subciclo na zona de descarga. O sistema de recarga dos aquíferos é caracterizado pela deslocação da água da camada superior do solo para a zona de saturação<sup>1</sup>, enquanto o sistema de descarga corresponde aos locais onde as águas emergem do sistema (figura 4), alimentando nascentes, rios, riachos e poços (Fetter 2001; Dingman, 1994; Espinha Marques, 2007; Silva, 2009).

A hidrogeologia é uma ciência que se dedica ao estudo do armazenamento, circulação e distribuição das águas terrestres na zona saturada das formações, tendo em conta as suas propriedades físicas e químicas, as suas interações com o meio físico e biológico e as suas reações à ação humana (Rodrigues, 1984; Fetter, 2001). É assim, um ramo da hidrologia entendida como a ciência que estuda a circunstância, repartição, circulação e fenómenos físico-químicos de todas as águas da Terra (Cleary, 1989; Fetter, 1994).



**Figura 4 - Exemplo de tempos de residência das águas nos sistemas aquíferos (adaptado de Heath, 1982 e Cleary, 1989; IN Teixeira, 2011).**

<sup>1</sup> O conceito de Zona de saturação será posteriormente definida e discutida

Conforme anteriormente referido, as águas subterrâneas estão em constante circulação. Desta forma, podemos distinguir quatro zonas onde o movimento da água nos aquíferos apresenta características próprias (Custodio & Llamas, 2001; González de Vallejo et al. 2002): zona de evapotranspiração, zona intermédia, franja capilar e zona saturada (Figura 5).

A zona não saturada agrupa a zona de evapotranspiração, a zona intermédia e a franja capilar, iniciando-se na superfície topográfica e estendendo-se até a parte superior da zona saturada, em que os poros encontram-se preenchidos com água e ar. A água nesta zona está sob pressão negativa, devido à tensão superficial entre ela e o ambiente geológico, assumindo-se que o ar na zona não saturada pode mover-se livremente, a partir da superfície topográfica, através de todos os espaços porosos vazios (Cleary, 1989). Conforme Fetter (2001), a zona não saturada corresponde também a um sistema trifásico contendo materiais sólidos (minerais ou orgânicos), líquidos (água e respetivos solutos) e gasosos (vapor de água e outros gases).

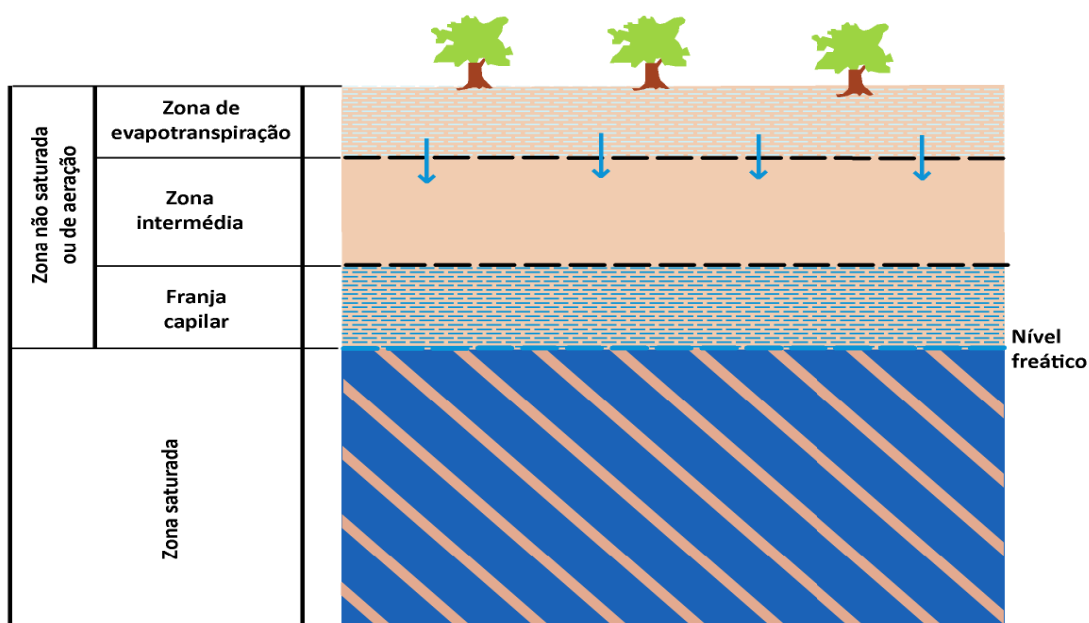
A zona de evapotranspiração corresponde a uma zona húmida que está em contato com a atmosfera. Caracteriza-se pela sua alta porosidade e abundância de matéria orgânica. Ainda nesta zona, o movimento da água faz-se pelos processos de armazenamento, evaporação e transpiração e em casos de períodos alongados sem precipitação, as plantas consomem a reserva de água por evapotranspiração até ao seu esgotamento, enchendo de novo a reserva quando voltar a chover (Custodio & Llamas, 2001; González de Vallejo et al. 2002; Teixeira, 2011).

A zona intermédia caracteriza-se pelo movimento da água ser essencialmente vertical/subvertical e sem sentido descendente (Custodio & Llamas, 2001; González de Vallejo et al. 2002; Teixeira, 2011).

A franja capilar corresponde a transição entre a zona não saturada e saturada e varia alguns centímetros em termos de altura nos terrenos de cascalho e vários metros em formações geológicas mais argilosas. A franja capilar caracteriza-se na parte superior pelas bolsas de ar que podem impedir o movimento descendente da água e na parte inferior pelo movimento de água ser muito semelhante ao movimento desta na zona saturada (Custodio & Llamas, 2001; González de Vallejo et al. 2002; Teixeira, 2011). Conforme Bouwer (1978) e Heath (1982), a água na franja capilar move-se, embora com uma velocidade que varia ao longo da sua extensão.

O limite da zona não saturada com a zona saturada designa-se por nível hidrostático. O nível hidrostático corresponde ao lugar dos pontos de um aquífero, em que a pressão é zero. Este nível é instável variando consoante a altimetria e altura do ano (González de Vallejo et al. 2002).

A zona saturada é caracterizada pelo movimento horizontal e vertical da água, e encontra-se condiciona pela carga hidráulica existente em cada local (Custodio & Llamas, 2001; González de Vallejo et al. 2002; Teixeira, 2011).



**Figura 5 - Zonas de circulação de água e subsolo (adaptado de González de Vallejo et al. 2002; IN Teixeira, 2011).**

Na natureza devido à diferente composição e estrutura do substrato rochoso, podem identificar-se diversas formações geológicas com capacidades distintas para armazenar e transmitir a água. Conforme o quadro 1, estas formações geológicas dividem-se em quatro grupos (Cleary, 1989; Custodio e Llamas, 2001; Fetter, 2001; González de Vallejo et al. 2002; Lencastre & Franco, 2006).

**Quadro 1 - Comportamento das formações geológicas relativo a água subterrânea (adaptado de González de Vallejo et al. 2002).**

Tipo	Capacidade de Armazenamento	Capacidade de drenância	Capacidade de transmitir água	Características das formações geológicas
Aquífero	Alta	Alta	Alta	Cascalhos, areias, calcários
Aquitardos	Alta	Média a baixa	Baixa	Siltes, areias siltosas e argilosas
Aquícludos	Alta	Muito Baixa	Nula	Argilas
Aquífgos	Nula	Nula	Nula	Granitos, Gnaisses, mármore

Um aquífero corresponde a uma formação geológica com uma permeabilidade e porosidade capaz de armazenar e transmitir quantidades significativas de água, para que a humanidade possa aproveitá-la em quantidades economicamente viáveis de modo a satisfazer as suas próprias necessidades e abastecer as atividades relacionadas com a agricultura, indústria e pecuária, enquanto um aquitardo é uma formação geológica de baixa permeabilidade, que armazena grandes quantidades de água, mas

transmite-a muito lentamente, não sendo rentável o seu aproveitamento a partir de poços (Cleary, 1989; Custodio & Llamas, 2001; Fetter, 2001; González de Vallejo et al. 2002; Lencastre & Franco, 2006).

No entanto, a exploração dos aquíferos deve ser realizada de forma racional, para não comprometer a capacidade dos mesmos de fornecerem água em quantidade e de qualidade adequada, a curto, médio e a longo prazo (Teixeira, 2008).

Um aquícludo define-se como uma formação geológica que consegue armazenar água, mas não a consegue transmitir, sendo assim impossível a sua captação; por seu turno um aquífugo corresponde a uma formação geológica impermeável que é incapaz de armazenar e transmitir água, sendo o substrato granítico não alterado, um exemplo de uma formação rochosa deste tipo de formação geológica (Cleary, 1989; Custodio & Llamas, 2001; Fetter, 2001; González de Vallejo et al. 2002; Lencastre & Franco, 2006).

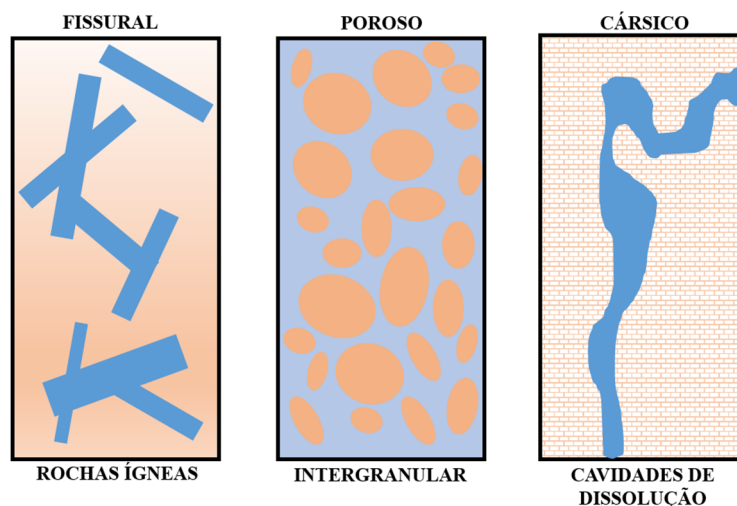
As duas últimas formações geológicas (Aquícludo e Aquífugo) caíram em desuso, sendo substituídos pela designação de camada confinante (Carvalho, 2006; Rodrigues et al. 2010).

Conforme a figura 6, os aquíferos podem ser divididos em três tipos (Fetter, 2001; González de Vallejo et al. 2002):

- Aquíferos porosos;
- Aquíferos fissurados;
- Aquíferos cárlicos.

Os aquíferos porosos são caracterizados pelo facto da água circular através de poros. A permeabilidade deve-se à sua porosidade intergranular, por este ser composto por cascalho, areia e diversos materiais detríticos de pequenas dimensões, o que origina uma elevada capacidade de armazenamento e circulação da água; enquanto nos aquíferos fissurados ou fraturados, a permeabilidade do reservatório geológico deve-se as fissuras e as diaclases, mais ou menos contínuas, onde a capacidade de armazenar água está relacionada com o grau de fracturação e sua abertura, como é o caso das rochas ígneas (Fetter, 2001; González de Vallejo et al. 2002).

Os aquíferos cuja água circula em condutas que derivaram do alargamento de diaclases por dissolução são designados de cárlicos. Estes reservatórios são característicos de rochas solúveis, nomeadamente, calcários e dolomitos e são extremamente vulneráveis à contaminação (Fetter, 2001; González de Vallejo et al., 2002).



**Figura 6 - Circulação de água nos meios fissurados, porosos e cársticos (Adaptado de [http://www.lneg.pt/CienciaParaTodos/edicoes\\_online/diversos/agua\\_subterranea/texto#c3](http://www.lneg.pt/CienciaParaTodos/edicoes_online/diversos/agua_subterranea/texto#c3)).**

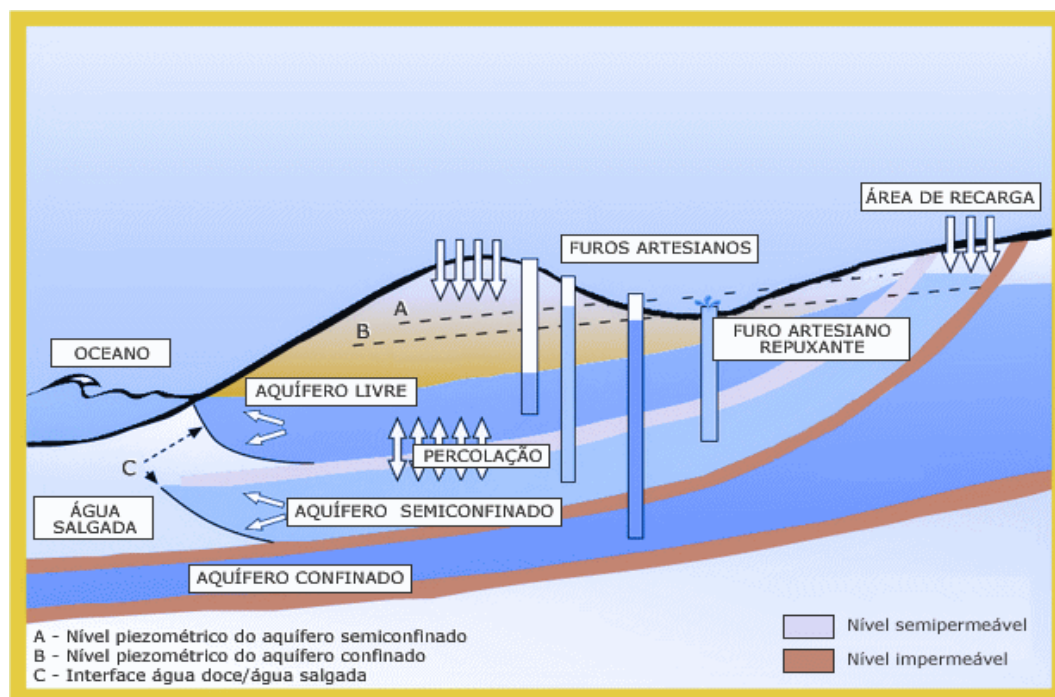
Pelas suas características hidráulicas e estruturais, os aquíferos podem funcionar de três formas diferentes (Fetter, 2001; González de Vallejo et al. 2002; Hiscock, 2005) (Figura 7):

- Aquíferos livres;
- Aquíferos confinados;
- Aquíferos semi-confinados.

Os aquíferos livres são permeáveis e parcialmente saturados de água, não sendo limitados superiormente por níveis confinantes. Desta forma, as águas subterrâneas armazenadas neste tipo de aquífero encontram-se à pressão atmosférica. Este tipo de aquíferos é geralmente muito vulneráveis a problemas de contaminação, devido ao facto de serem recarregados diretamente pela infiltração da água superficial e da precipitação (Custodio & Llamas, 2001).

Os aquíferos confinados correspondem a formações geológicas completamente saturadas de água, limitados no topo e na base por camadas impermeáveis, sendo a pressão da água superior à atmosférica (Custodio & Llamas, 2001). Segundo Freeze & Cherry (1979) os aquíferos confinados ocorrem em profundidade, enquanto os aquíferos livres situam-se mais próximos da superfície topográfica.

Por sua vez, os aquíferos semi-confinados correspondem a um sistema físico integrado por um aquífero superior bem alimentado, uma camada semipermeável e um aquífero semi-confinado (González de Vallejo et al. 2002). A diferença de nível entre o aquífero superior e o inferior conduz uma transferência de água na vertical, que alimenta o aquífero inferior (Fetter, 2001).



**Figura 7 - Tipologia dos Aquíferos**

([http://www.lneg.pt/CienciaParaTodos/edicoes\\_online/diversos/agua\\_subterranea/texto#c3](http://www.lneg.pt/CienciaParaTodos/edicoes_online/diversos/agua_subterranea/texto#c3)).

A água como elemento físico-químico do ciclo hidrológico vai adquirindo propriedades ao longo das suas etapas. Estes elementos físico-químicos devem obedecer a determinados padrões de qualidade de modo a não colocar em causa a saúde de qualquer ser-vivo. As propriedades físico-químicas, que em norma são objeto de análise, correspondem à cor, ao cheiro, à dureza, ao pH, à condutividade elétrica, ao sabor, à turvação e à temperatura. A síntese seguinte relativa às propriedades físico-químicas da água é baseada nos seguintes trabalhos: Domenico & Schwartz (1998); Custodio & Llamas (2001); Fetter (2001); Mendes & Oliveira (2004).

A cor deriva da capacidade da água absorver certas radiações do espectro visível e em que a cor resulta das substâncias que nela estão dissolvidas, as quais provêm principalmente da lixiviação de matéria orgânica. Na generalidade, pode-se afirmar que a água subterrânea é incolor.

O cheiro é uma propriedade física da água que corresponde à capacidade de originar a sensação de cheiro, estando intimamente relacionada com o sabor e dependente do teor, do tipo de sais dissolvidos na água e da presença de substâncias em solução ou em suspensão. Nas águas superficiais o cheiro pode estar associado a compostos orgânicos dissolvidos ou em suspensão, principalmente nas estações quentes, devido a intensa atividade biológica, enquanto nas águas superficiais podem-se sentir cheiros bem característicos, que denunciam, por exemplo, a presença de sulfureto de hidrogénio.

A dureza da água é determinada pela natureza geológica e corresponde a uma propriedade que indica o teor global de iões de determinados minerais alcalinoterrosos dissolvidos. Conforme, o quadro

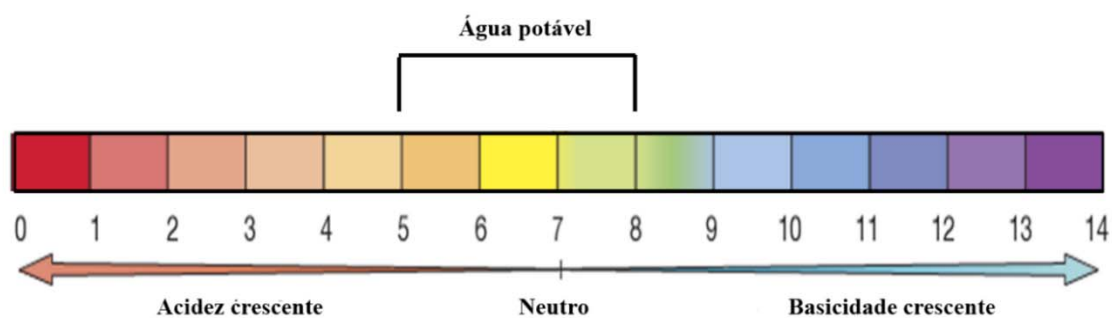


2 a dureza da água da água pode ser **Branda, Ligeiramente Dura, Dura e Muito Dura**, sendo expressa, geralmente, em ppm (partes por milhão) de carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) (Custodio & Llamas, 1996).

**Quadro 2 - Classificação da Água segundo a Dureza (adaptado de Custodio & Llamas, 1996).**

Designação	Dureza (ppm $\text{CaCO}_3$ )
Branda	>50
Ligeiramente dura	50 a 100
Dura	100 a 200
Muito dura	>200

O pH corresponde ao logaritmo decimal do inverso da concentração do ião de hidrogénio numa solução e a sua escala varia entre 0 a 14 (Figura 8). A determinação do valor do pH de uma água subterrânea deve ser feita, preferencialmente no local de amostragem. A maioria destas águas apresenta um pH entre 5.5 e 8.5, podendo, em casos especiais, variar entre 3 e 11, sendo influenciadas pela sua origem e pela natureza dos terrenos atravessados, como exemplo as águas das Termas de São Pedro do Sul, em que o pH apresenta valores 8.89 (Bastos et al. 2008). Relativamente à importância do pH da água potável, este à partida, não terá efeitos diretos sobre a saúde, desde que estes valores se mantenham nos limites recomendados (pH 5 a 8). No entanto será necessário controlar a corrosão e a dissolução de metais, bem como a formação de incrustações, em canalizações em que a água está em contato.



**Figura 8 - Escala de pH**

(Adaptado de <http://www.todavidanutricao.com.br/site/wp-content/uploads/2014/10/Escala-3.png>).

A condutividade elétrica corresponde à capacidade da água conduzir a corrente elétrica e está diretamente associada ao conteúdo de sais dissolvidos sob a forma de iões. A medição da condutividade elétrica permite avaliar o grau de mineralização de uma água e a sua salinidade, devido à relação entre o teor em sais minerais dissolvidos e a resistência que oferece à passagem da corrente elétrica (Quadro 3). No caso das águas subterrâneas o seu valor é apresentado em micro-siemens por centímetro ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) a uma temperatura padrão de  $25^\circ\text{C}$ . A medição desta propriedade realiza-se *in situ* com um condutímetro portátil.

**Quadro 3 - Classificação da mineralização e da qualidade das águas de acordo com a condutividade elétrica (adaptado de Mendes & Oliveira, 2004).**

Condutividade Elétrica	Mineralização	Qualidade da Água (Físico - química)
<100 $\mu\text{S/cm}$	Muito fraca	Excelente
100 - 200 $\mu\text{S/cm}$	Fraca	Excelente
200 - 400 $\mu\text{S/cm}$	Pouco acentuada	Excelente
400 - 600 $\mu\text{S/cm}$	Média	Boa
600 - 1000 $\mu\text{S/cm}$	Importante	Utilizável
>1000 $\mu\text{S/cm}$	Excessiva	Difícilmente utilizável
>1500 $\mu\text{S/cm}$	Excessiva	Não utilizável na rega

A propriedade física da água sabor condiz com a capacidade de produzir a sensação de gosto. Tal como o odor, no seu estado puro, a água não apresenta qualquer sabor.

A turvação ou turbidez define-se pela dificuldade que a água tem para transmitir luz. Esta dificuldade deve-se a presença de substâncias coloidais e de sedimentos finos, visíveis, em suspensão (argila, grãos de areia, matéria orgânica).

A temperatura da água tem como principais fontes de calor, a irradiação solar e o gradiente geotérmico. As temperaturas das águas subterrâneas, ao contrário das águas superficiais, mantêm-se bastante estáveis ao longo do ano, tendo uma amplitude térmica anual bastante baixa (1 a 2°C). A temperatura da água subterrânea é obtida através de amostras *in situ* com um termómetro apropriado.

Conforme anteriormente referido, a capacidade da água se infiltrar, ser armazenada e extraída do subsolo é controlada por determinadas propriedades dos diferentes materiais geológicos. Desta, forma torna-se importante conhecer o enquadramento geológico e os estudos relacionados com as águas subterrâneas das áreas em estudo, com o intuito de caracterizar as propriedades dos materiais existentes naquela área, de avaliar a capacidade de armazenamento, de circulação e de produção das formações aquíferas e de identificar as áreas de recarga/descarga e dos problemas da qualidade da água (Babar, 2005).

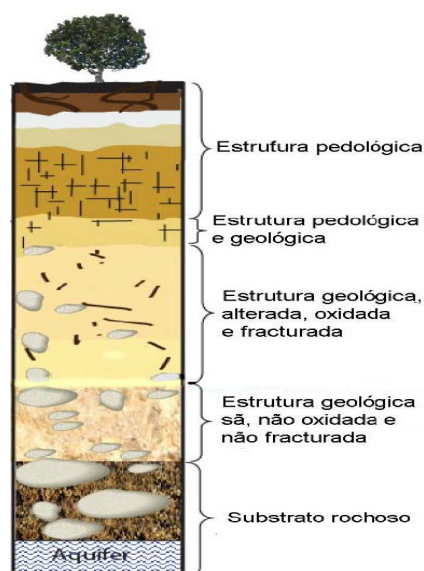
O comportamento da água subterrânea nos maciços rochosos cristalinos<sup>2</sup> depende de diversos fatores, tais como: morfologia do terreno, rede de drenagem, uso do solo, declives, formações geológicas, estrutura geológica e condições hidroclimáticas (Babar, 2005). Conforme a figura 9, neste tipo de maciços, a circulação da água realiza-se ao longo de descontinuidades (i.e., todas as estruturas geológicas que constituam uma quebra na continuidade dos maciços rochosos, podendo corresponder a

<sup>2</sup> Os maciços rochosos cristalinos caracterizam-se pela presença de rochas graníticas e metassedimentares ou seja, rochas com porosidade e permeabilidade primárias negligenciáveis (Lima & Barbosa, 2011).

estruturas que vão desde estratificação/xistosidade até megaestruturas regionais como falhas) (Carvalho, 2006). As discontinuidades, segundo Singhal & Gupta (2010) estão divididas nas seguintes categorias: estratificação, xistosidade, falha, diaclases e ainda discordância e contacto entre rochas diferentes.

A transmissividade e capacidade de armazenamento das rochas cristalinas estão sujeitas à conectividade das discontinuidades do próprio maciço (Marsilly, 1986). Nesta lógica, e segundo Singhal & Gupta (2010) estes parâmetros desenvolvem-se à medida que aumenta o tamanho das discontinuidades e diminui o seu espaçamento, visto que a possibilidade das discontinuidades se cruzarem amplifica significativamente.

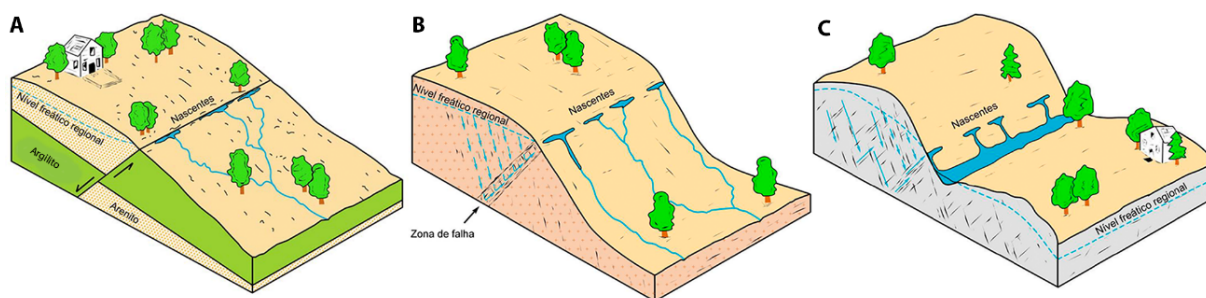
A distribuição e circulação de água subterrânea nos maciços rochosos cristalinos fraturados são bastante diferenciadas, estando dependente das características e interconetividade das fraturas (Teixeira, 2011).



**Figura 9 - Esquema típico da estrutura pedológica e geológica, em maciços cristalinos (adaptado e modificado de Lin, 2010; IN Teixeira, 2011).**

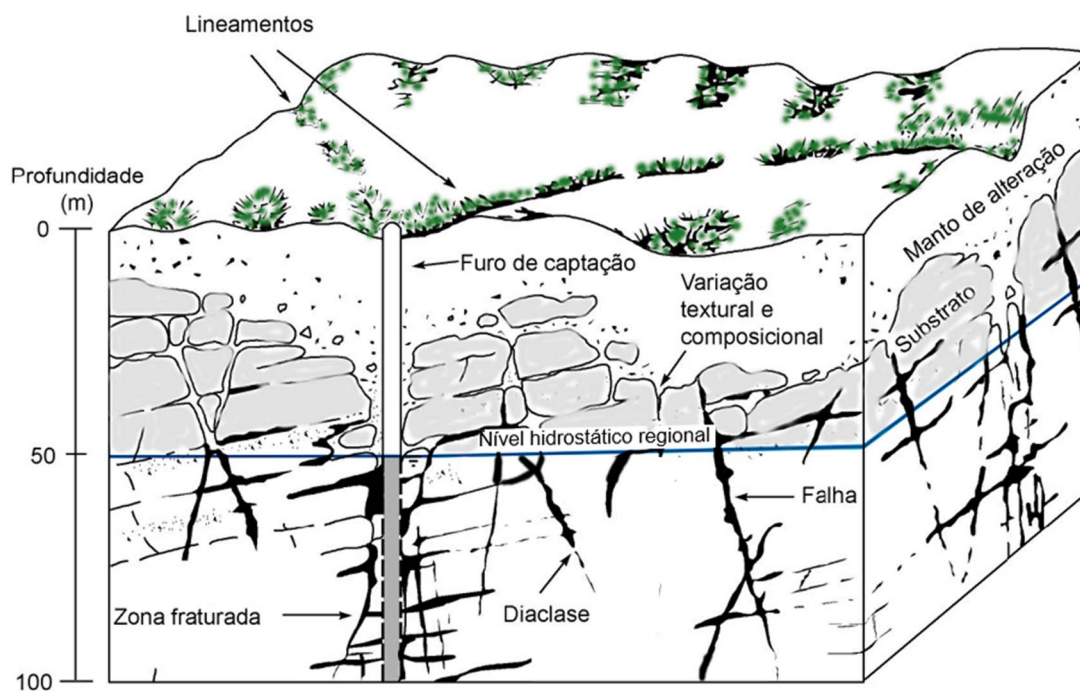
As nascentes correspondem aos locais na superfície da Terra onde existe uma descarga de água subterrânea proveniente de um aquífero, criando um fluxo visível (Kresic, 2007).

Segundo Fetter (2001), nas rochas cristalinas podem-se encontrar nascentes associadas a falhas, zonas de fraturas, diaclasamentos (Figura 10) e lineamentos tectónicos (Figura 11).



**Figura 10 - Nascentes dos Maciços Cristalinos – A) Nascentes associadas a falhas; B) Nascentes associadas a zonas fraturadas; C) Nascentes associadas a fraturas e diaclasses (adaptado de Fetter, 2001; IN Teixeira, 2011).**

Os lineamentos podem estar associados a múltiplas origens. Neste sentido, os lineamentos podem corresponder a segmentos de vale retilíneo, a depressões alinhadas na superfície do terreno, a variações tonais do solo, indicando teores de humidade diferentes, a mudanças topográficas abruptas, a alinhamentos da vegetação e a mudanças no tipo e altura da vegetação. Segundo Babar (2005), este tipo de fenómenos são resultado do controlo estrutural, por falhas, fraturas ou estruturas dobradas. Os lineamentos podem também corresponder a áreas preferenciais de circulação de água, tornando-se hidrologicamente significativos (Carvalho, 2006).



**Figura 11 - Ocorrência de água subterrânea, ligada a lineamentos tectónicos (adaptado e modificado de Teixeira, 2011 e Fetter, 2001).**

#### 1.4.5 – VULNERABILIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Conforme anteriormente evidenciado, a água assume sempre um papel importante na subsistência das sociedades, dado a esse facto esta deve ser preservada, valorizada e gerida de uma forma sustentada, para que as gerações vindouras possam usufruir da mesma qualidade e quantidade que as anteriores.

Desta forma e segundo Guo & Wang (2009), a proteção do recurso água tem-se relevado um desafio na manutenção da sustentabilidade das reservas de água potável, sobretudo nas últimas décadas.

A Diretiva 2000/60/CE estabelece orientações para que cada Estado-Membro proteja, melhore e reconstitua todas as massas de água subterrâneas, evitando e limitando as descargas de poluentes (sólidos, líquidos e gasosos), para alcançar uma boa qualidade das águas subterrâneas. No entanto, poucos benefícios económicos da exploração dos recursos hídricos são reinvestidos na gestão das águas subterrâneas, não aliviando as preocupações existentes sobre a degradação dos aquíferos e a sua sustentabilidade (Foster & Chilton, 2003). Desta forma, são necessários investimentos para a proteção da qualidade destes recursos, incluindo disposições institucionais adequadas de gestão no lado da procura, e de valorização e controle de potenciais contaminações no lado da oferta (Foster & Chilton, 2003).

As águas subterrâneas tem vindo a assumir uma maior importância como fonte de abastecimento em relação as águas superficiais. Este aumento deve-se sobretudo a água subterrânea estar menos sujeita à contaminação, devido a encontrar-se protegida pelo solo e pela cobertura rochosa (Arzu Firat & Fatma, 2013).

As primeiras referências à vulnerabilidade das águas subterrâneas à contaminação remontam à década de 60, do século XX, quando o termo foi introduzido com o intuito de definir o grau de proteção que o ambiente natural pode fornecer face à entrada de poluentes nas águas subterrâneas (Wang, 2007). No entanto, apesar da literatura produzida, ao longo dos últimos anos e dos inúmeros trabalhos realizados sobre este tema, dos quais pode-se salientar, Aller et al. (1987); Civita (1990); Lobo-Ferreira (1998); Paralta et al. (2005); Foster (2006); Sinan & Razack (2008); Liggett & Allen (2010) ainda é difícil obter uma definição objetiva e uniformizada do termo na comunidade científica.

A vulnerabilidade pode ser definida, segundo Vrba & Zaporozec (1994) como uma propriedade intrínseca do aquífero, que depende da sensibilidade para a alteração da qualidade das águas subterrâneas causada pelo impacto das atividades humanas e/ou naturais. A avaliação da vulnerabilidade é realizada com base no tempo do percurso da água desde a superfície topográfica até ao nível hidrostático, sendo que, quanto maior o tempo de percurso, maior o potencial de atenuação do poluente (Robins et al. 2007).

Conforme Gomez (1998), Civita & Maio (2004), Paralta et al. (2005), Ribeiro (2005) e entre outros autores esta definição comporta dois conceitos de vulnerabilidade: a vulnerabilidade intrínseca ou natural e a vulnerabilidade específica ou integrada.

A vulnerabilidade intrínseca de um aquífero à contaminação corresponde à sensibilidade própria que um sistema aquífero, nas suas propriedades e características intrínsecas, pode receber e difundir líquidos e/ou contaminantes em função do espaço e do tempo (Civita & Maio, 2004). Este tipo de vulnerabilidade está dependente de três fatores (Civita & Maio, 2004): o primeiro fator incide no processo de ingestão e o tempo de deslocação da água e/ ou contaminantes através da zona saturada até a zona não saturada; o segundo fator corresponde à dinâmica dos fluxos das águas subterrâneas e/ou contaminantes na zona saturada; por fim, o terceiro fator relaciona a concentração residual dos contaminantes na zona saturada com a concentração original, assinalando assim, a capacidade de atenuação de um aquífero ao impacte do contaminante.

A vulnerabilidade específica ou integrada é definida como a sensibilidade em que as águas subterrâneas reagem a um determinado contaminante em função das suas propriedades e das suas características intrínsecas (Wang, 2007).

No entanto, acresce referir que por vezes o conceito de vulnerabilidade é confundido com o conceito de suscetibilidade, criando alguns entraves no acerto das definições científicas.

Conforme o RCM nº 81/2012, que veio aprovar *as orientações estratégicas de âmbito nacional e regional para a delimitação da REN a nível municipal, sem prejuízo da futura aprovação do plano setorial de prevenção e redução de riscos, constituindo uma mais-valia para os processos de delimitação em curso e permitindo ainda a aplicação do regime mais simplificado de elaboração e aprovação da referida delimitação a nível municipal, que se encontra previsto no Decreto -Lei n.º 166/2008, de 22 de agosto*, a suscetibilidade é empregue apenas no tema das vertentes e corresponde à *incidência espacial do perigo. Representa a propensão para uma área ser afetada por um determinado perigo, em tempo indeterminado, sendo avaliada através dos fatores de predisposição para a ocorrência dos processos ou ações, não contemplando o seu período de retorno ou a probabilidade de ocorrência.*

Analisando com detalhe o RCM nº 81/2012, pode-se verificar que este, também estabelece um índice e diversos critérios para a avaliação das áreas vulneráveis à poluição, designado de Índice de Suscetibilidade (IS) (Ribeiro, 2005). Este índice tem por base a vulnerabilidade específica e aplica-se aos sistemas aquíferos porosos ou de dupla porosidade, como é o caso dos aquíferos com comportamentos mistos (e. g. os sistemas aquíferos cársicos-porosos).

No entanto, autores como Albinet & Margat (1970), Zaporozec & Miller (2000), Zaporozec (2002) e Thangarajan (2007), defendem o uso do conceito de vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas. Assim sendo, convém definir dois conceitos: contaminação e poluição.

A contaminação das águas subterrâneas é definida como a introdução na água de qualquer substância que não está presente no seu estado puro, levando a que esta fique imprópria para os usos desejados (UNESCO, 1992). No entanto, em biologia entende-se por contaminação, a introdução de um elemento anômalo, numa determinada massa de água ou habitat, que ponha em causa a sobrevivência das espécies animais e vegetais, que nelas se encontram. A avaliação destes limites, geralmente, é feita através de testes ecotoxicológicos, com recursos a espécies mais sensíveis à contaminação (e. g. *daphnia magna*) (Afonso et al. 2007, 2010).

A poluição das águas subterrâneas corresponde segundo Ribeiro (2005), à probabilidade em que determinado contaminante apresente valores acima dos pré-estabelecidos, levando assim a um risco iminente para a saúde pública e para os diversos seres vivos dos diversos habitats.

Lobo-Ferreira (1998) afirma que a vulnerabilidade é diferente de risco de poluição. O risco de poluição das águas subterrâneas, não depende somente da vulnerabilidade, mas também da existência de um número significativo de contaminantes que possam entrar no ambiente subterrâneo. Desta forma, poderá ocorrer dois cenários relativos a poluição dos aquíferos. O primeiro cenário incide na existência de um aquífero com um alto índice de vulnerabilidade, mas sem risco de poluição, caso não haja um número de contaminantes significativos, e o segundo cenário corresponde a um aquífero com baixo índice de vulnerabilidade, mas com enorme um risco à poluição.

Assim, o risco pode ser causado não só pelas características intrínsecas do aquífero, muito estáveis, como pelas atividades poluentes, caracterizadas como um fator dinâmico e, que em, princípio podem ser controladas e geridas (Lobo-Ferreira, 1998).

Desta forma, pode-se concluir que todas as águas subterrâneas são vulneráveis à contaminação, no entanto a não homogeneidade natural dos resultado do ambiente físico de determinadas áreas, leva a que existam áreas mais vulneráveis à contaminação do que outras.

A controvérsia existente na definição do conceito de vulnerabilidade levou ao aparecimento de diversas metodologias de análise multicritério referentes à vulnerabilidade das águas subterrâneas à contaminação, tais como o método IS (Ribeiro, 2000; Francés et al. 2001; Paralta et al. 2001; Ribeiro, 2005), conforme referido anteriormente, o método DRASTIC (Aller et al. 1987), o método GOD (Foster, 1987) entre outros. Além disso, estes métodos tal como foram estabelecidos estão, de certo modo descontinuados (>30 anos), tendo surgido propostas mais recentes dos índices referenciados com atualizações significativas, como o DRASTIC-FOR e o GOD-S.



O tema das metodologias de análise multicritério referentes à vulnerabilidade das águas subterrâneas à contaminação será abordado posteriormente.

## 1.5 – ENQUADRAMENTO DA ÁREA DE ESTUDO

### 1.5.1 – ENQUADRAMENTO GEOGRÁFICO

A área de estudo foca-se num setor da bacia hidrográfica do Rio Uíma inserida no concelho de Santa Maria da Feira e abrange as freguesias de São João de Vêr, União das freguesias de Caldas de São Jorge e Pigeiros, Lourosa, Fiães, União das freguesias de Lobão, Gião, Louredo e Guisande, Argoncilhe, Sanguedo, Mozelos e União das freguesias de Canedo, Vale e Vila Maior. No que toca à hipsometria, a área de estudo abrange locais com cotas superiores a 300m (e.g. 304m em Souto Redondo) e locais com cotas próximas dos 100m. Assim sendo a área de estudo apresenta uma altitude média de 200m e uma área, aproximada de 25km<sup>2</sup> (Figura 12).

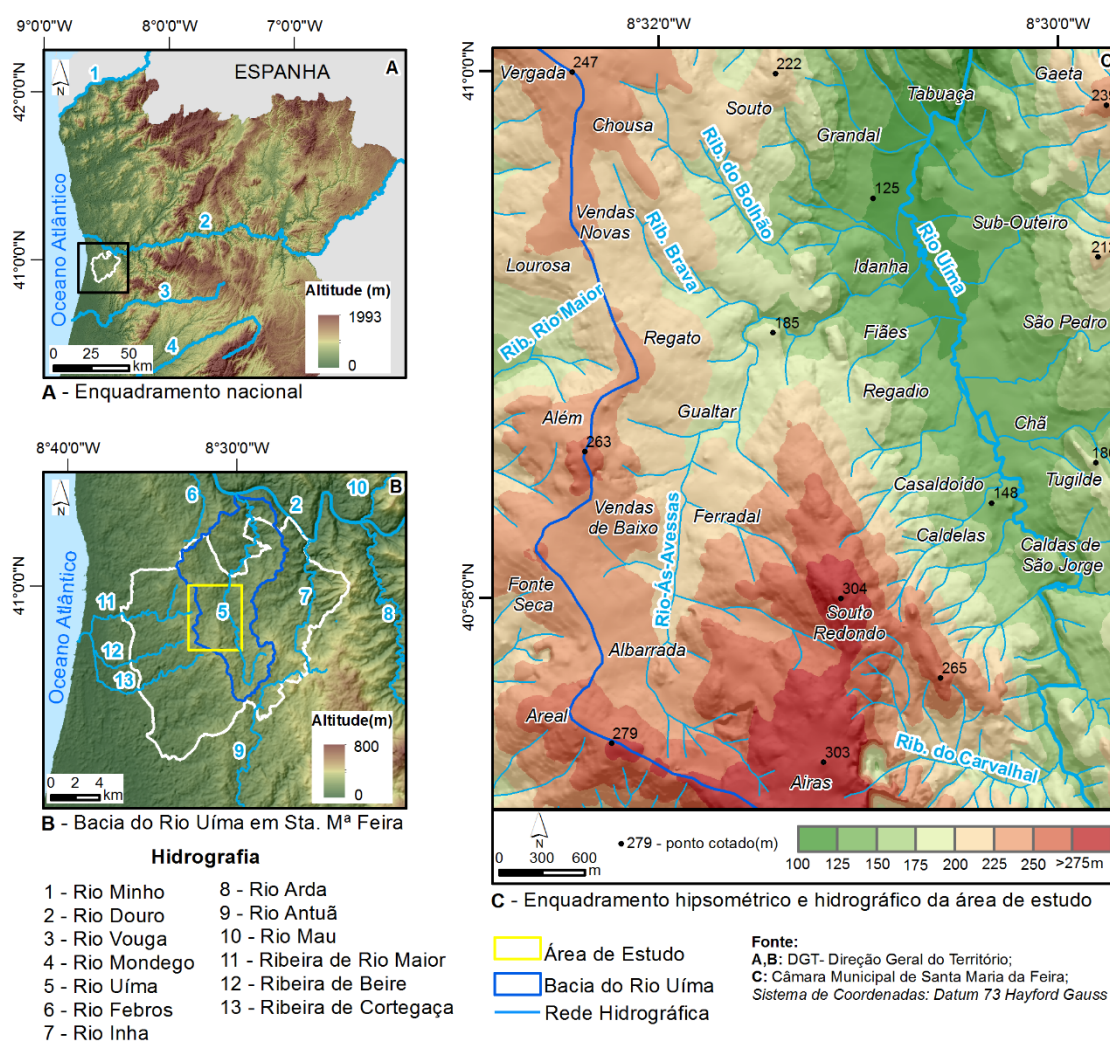


Figura 12 - Enquadramento da área de estudo.



## 1.5.2 – GEOTECTÓNICA, GEOMORFOLOGIA E GEOLOGIA DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo localiza-se no Maciço Hespérico (MH), entre os limites da Zona Ossa-Morena (ZOM) com a Zona Centro Ibérica (ZCI) (Lotze, 1945; Julivert et al. 1972; Ribeiro et al. 1979; Dallmeyer & Martínez García, 1990; Chaminé, 2000; Ribeiro et al. 2007). O MH depara-se com uma rede significativa de acidentes tectónicos, que se encontram, geralmente, subordinados aos sistemas de fraturação NNE-SSW a ENE-WSW e NW-SE a NNW-SSE (Afonso et al., 2004). No MH a evolução tectónica posterior é imposta pela orogenia Alpina (Ribeiro et al. 1990; Cabral, 1995) correspondendo à reativação das falhas tarde-hercínicas, tendo dado origem aos atuais traços morfo-estruturais da área de estudo (figura 14-A).

Assim sendo, do ponto de vista da geotectónica, e conforme a figura 14-A a área de estudo é atravessada pela faixa de cisalhamento de Porto-Coimbra-Tomar (Gama Pereira, 1987; Chaminé, 2000). Esta faixa corresponde a uma faixa com uma série de acidentes tectónicos de 1ª e de 2ª ordem, com extensão de ca. 90km por ca. 3km de largura e com uma direção geral NNW-SSE (Chaminé et al. 2003). Desta forma, a área de estudo encontram-se bastante fraturada, o que condicionada a sua geomorfologia. Como tal, esta região é composta por rochas bastante antigas do extremo ocidental da Meseta Ibérica e por rochas sedimentares recentes, como o caso dos aluviões do vale do Rio Uíma.

Devido ao forte condicionamento tectónico, marcado pelo encaixe da rede hidrográfica que segue direções preferenciais, pela existência de níveis escalonados a altitudes diferenciadas e pela disposição geral do relevo, que marca a geomorfologia da área de estudo, podem definir-se três blocos topográficos principais:

1) Os relevos marginais que se estabelecem entre Argoncilhe até ao lugar de Souto Redondo (São João de Vêr), com topos a atingirem valores superiores a 275m de altitude, constituindo o limite da plataforma litoral a W e vincando o setor deprimido imediatamente a E (figura 12-C);

2) O setor deprimido ocupado pelo vale do Rio-Ás-Avessas, entre o lugar das Airas (São João de Vêr) até ao lugar de Gualtar (Fiães);

3) O setor deprimido ocupado pelo vale do Rio Uíma, entre as Caldas de São Jorge até ao lugar da Tabuaça (União das freguesias de Lobão, Gião, Louredo e Guisande).

Os relevos marginais, designação atribuída por Araújo (1991) aos relevos que surgem a E da plataforma litoral, correspondem a um relevo acentuado de cariz aplanado com orientações diversas entre NNW e NNE (figura 13-C). Segundo Araújo (2000) o relevo marginal poderá corresponder a um “horst”, devido aos seguintes fatores:

- Configuração topográfica;
- Condicionamento tectónico da faixa de cisalhamento Porto-Coimbra-Tomar.

Na área de estudo, principalmente na povoação de Lourosa verifica-se, segundo a figura 12-C, um “golfo” topográfico no relevo marginal (Ferreira, 1978). Segundo Gomes (2008), este “golfo” rompe com o seguimento de algumas escarpas ocidentais do relevo marginal e define amplas bacias de receção alargadas no interior do relevo, situação que ilustra a capacidade que a erosão fluvial teve para trespassar na frente destes relevos marginais. Porém este, golfo, também designado de alvéolo por Ferreira (1979), Soares (1992) e Rochette Cordeiro (2004) pode estar associado ao compromisso entre a litologia e a tectónica.

Outro facto constatado, na área de estudo, acerca do relevo marginal corresponde à presença de alguns retalhos aplanados com uma extensão considerável, principalmente junto do atual traçado da Estrada Nacional Nº1 (Gomes, 2008).

Relativamente à hipsometria dos relevos marginais as localidades com as maiores elevações ocorrem em Souto Redondo (a ca. de 304m de altitude), Airas (a ca. de 303m de altitude) e Terra Negra (a ca. de 279m de altitude) (Figura 12-C).

Referente ao setor deprimido ocupado pelo vale do Rio-Ás-Avessas, entre o lugar das Airas (São João de Vêr) até ao lugar de Gualtar (Fiães) constata-se que este está associado, segundo Gomes (2008) a um vale de linha de falha, com uma direção NNE-SSW (figura 14-C). Segundo o mesmo autor e observando a figura 12-C o setor deprimido do vale do Rio-Ás-Avessas corresponde a uma superfície aplanada do relevo marginal que se deslocou tectonicamente, tendo abatido relativamente à área circundante, formando assim um alvéolo. Nesta área as elevações variam entre os 200m até aos 250m de altitude.

O setor deprimido ocupado pelo vale do Rio Uíma, entre as Caldas de São Jorge até ao lugar da Tabuaça (União das freguesias de Lobão, Gião, Louredo e Guisande) constitui uma unidade geomorfológica muito importante, na área de estudo. Este setor está associado à faixa de cisalhamento Porto-Coimbra-Tomar, o que originou o abatimento desta área (Chaminé, 2000). É, também, neste setor que ocorre a transição entre os relevos marginais e os relevos interiores, designadamente os relevos quartzíticos e os relevos compostos pelo complexo Xisto Grauváquico Ante-Ordovícico. Este setor é, ainda, atravessado pelo Filão Metalífero das Beiras (Ribeiro, 1860). No que toca à hipsometria, este setor apresenta elevações entre os 100m até aos 150m.

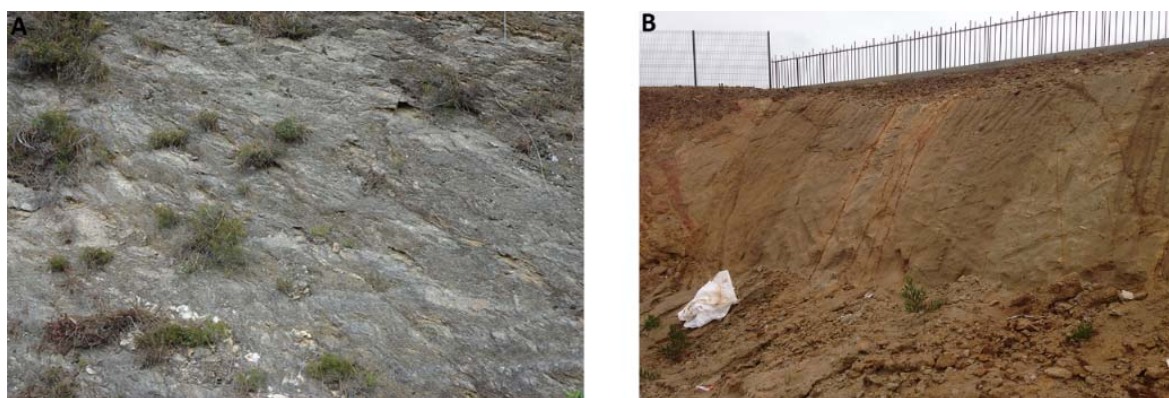
Em jeito de conclusão, a rede de fraturas, com direções N-S, NNE-SSW e NNW-SSE e a movimentação da faixa de deformação crustal da Faixa de Cisalhamento Porto-Coimbra-Tomar, ajudaram a definir e interpretar a geomorfologia da área de estudo, uma vez que a sua movimentação influenciou a orientação, a disposição e o desenvolvimento dos relevos.

A figura 14-B apresenta três zonamentos, de modo a simplificar as matérias relacionadas com a geologia da área de estudo. O primeiro corresponde ao afloramento de rochas na ZOM, o segundo condiz

com a área de transição de afloramentos de rochas da ZOM e ZCI e o terceiro incide nos afloramentos de rochas da ZCI.

A primeira zona corresponde às rochas que se encontram inseridas numa faixa metamórfica, com direção geral NNW-SSE, que se prolonga desde a Foz do Douro (Porto) até Tomar passando por Espinho, Albergaria-a-Velha, Coimbra, Espinhal, Alvaiázere, designada por Gama Pereira (1987) e Chaminé (2000) de faixa de cisalhamento de Porto-Coimbra-Tomar. A unidade estrutural que se enquadra este zonamento corresponde à ZOM, sendo esta caracterizada por um conjunto complexo de rochas do Proterozóico Superior/Paleozóico (Chaminé, 2000).

Nesta área o substrato geológico é constituído, essencialmente, por rochas metassedimentares destacando-se os micaxistos e metagrauvaques da Unidade de São João de Vêr (figura 13-A) e os gnaisses, migmatitos e micaxisto da Unidade de Lourosa (figura 14-C). Ao longo da Unidade de Lourosa ocorrem vários afloramentos de granitos gnáissicos e ortognaisses, principalmente visíveis junto a antigas e atuais pedreiras (figura 13-B).



**Figura 13 - A) Aspeto dos Micaxistos na Unidade de São João de Vêr, no lugar do Areal (São João de Vêr. B) Aspeto dos granitos gnáissicos, bastante alterados na antiga pedreira dos Lima, no lugar de Além (Lourosa).**

A segunda zona corresponde a uma faixa com uma direção aproximadamente NNE-SSW e diz respeito a uma área de transição entre as rochas da Unidade de Lourosa, da ZOM com as rochas da ZCI, mais designadamente os xistos cinzentos e negros da Formação de Valongo de idade proterozóica e paleozóica, metamorfizados, deformados e intruídos por plutonitos graníticos durante a orogenia varisca (Ribeiro et al. 1979; Ribeiro, 2006; Dias, 2006) e os granitos de grão médio a grosseiro, de duas micas, muito semelhantes aos granitos do Porto (Noronha, 2005). Ainda neste zonamento encontram-se aluviões recentes, alocados junto ao vale do Rio Uíma.

Na terceira e última zona afloram rochas que se enquadram nos terrenos da ZCI. Nesta zona verifica-se, entre Sanguedo e as Caldas de São Jorge, uma faixa de rochas eruptivas de origem hercínica, com direção NNW-SSE, constituída por granitos porfiríoides, de grão grosseiro, geralmente biotíticos, bastante semelhantes ao granito que aflora na zona de Lavadores, em Vila Nova de Gaia, também

designado de granito de Lavadores (Teixeira, 1970; Gomes et al. 2002). Ainda nesta zona destaca-se o afloramento de quartzíticos Armoricanos com direção NNW-SSE, junto à povoação de Tugilde (União das freguesias de Lobão, Gião, Louredo e Guisande) que originam relevos importantes e descontínuos, com direção geral meridiana. Estes afloramentos apresentam uma extensão de aproximadamente 30km e 1,5km de largura média, prolongando-se até à localidade de Carvoeiro (Albergaria-a-Velha), correspondendo assim, a uma megaestrutura em sinforma, designada, Caldas de S. Jorge-Carvoeiro (Ribeiro et al. 1995; Chaminé, 2000; Teixeira, 2006). A expressão morfo-estrutural tanto dos granitos porfiróides, de grão grosseiro, geralmente biotíticos, como dos alinhamentos quartzíticos sugerem uma relação com a proximidade relativa à zona de cisalhamento principal. Por fim, neste zonamento também se encontram rochas do complexo Xisto Grauváquico Ante-Ordovício (Teixeira, 1955), correspondendo a testemunhos de existência de um antigo mar onde se depositaram sedimentos que, após intensa atividade tectónica, se metamorfizaram, dobraram e deslocaram. No entanto, são os xistos estaurolíticos que afloram a NNE da área de estudo, no lugar da Gaeta.

Outro tipo de rochas que se encontram distribuídas de forma heterogénea pela área de estudo são as rochas filonianas. Através da figura 14-C, verifica-se a existência de três tipos de filões ou massas, designadamente os anfibolitos, os pegmatitos e os quartzos.

Segundo Chaminé (2000), os filões anfibolíticos correspondem a corpos individualizados, de cor negra a cinzenta-esverdeada, descontínuos, com espessuras variáveis desde decimétricas até métricas e com uma orientação geral NNW-SSE. Os filões pegmatíticos são caracterizados por massas de quartzo e feldspato, contendo micas, turmalina e volfrâmio e por deterem uma orientação geral NW-SE a NNW-SSE.

Os filões de quartzo correspondem a estruturas tabulares e lenticulares, com dimensões centimétricas a métricas, descontínuas e instaladas nos maciços granitóides e nas rochas metassedimentares encaixantes. O aparecimento de filões quartzosos, nesta área está relacionado com os alinhamentos preferenciais, particularmente com a foliação regional principal (NW-SE) ou com fraturas de direção N-S a NE-SW (Chaminé, 2000; Gomes, 2008).

Conforme evidenciado anteriormente, junto das Caldas de São Jorge existe um importante filão, designado de Filão Metalífero das Beiras. Este filão foi objeto de intensa exploração mineira, especialmente na região entre as Caldas de São Jorge e Albergaria-a-Velha, destacando-se as minas do Pintor, junto a povoação de Nogueira do Cravo (Oliveira de Azeméis). Segundo as notas explicativas da Carta Geológica de Portugal 1/50000 folha 13-B (Castelo de Paiva), a região das Caldas de São Jorge terá sido atingida, além de outros, por movimentos do período terciário que originaram diversas fraturas do Filão Metalífero das Beiras, levando a que ao longo destas fraturas, de tipo alpino as águas sulfurosas das Termas das Caldas de São Jorge atingissem a superfície. Desta forma, as águas mineromedicinais das Termas das Caldas de São Jorge correspondem a águas sulfúrico-sódicas e hipotermiais e ascendem

ao longo das fendas do grande filão da Beira. Estas águas emergem através de uma única captação a 90 metros de profundidade, apresentando uma temperatura natural de 23°C (Freire de Andrade, 1937, 1938/1940).

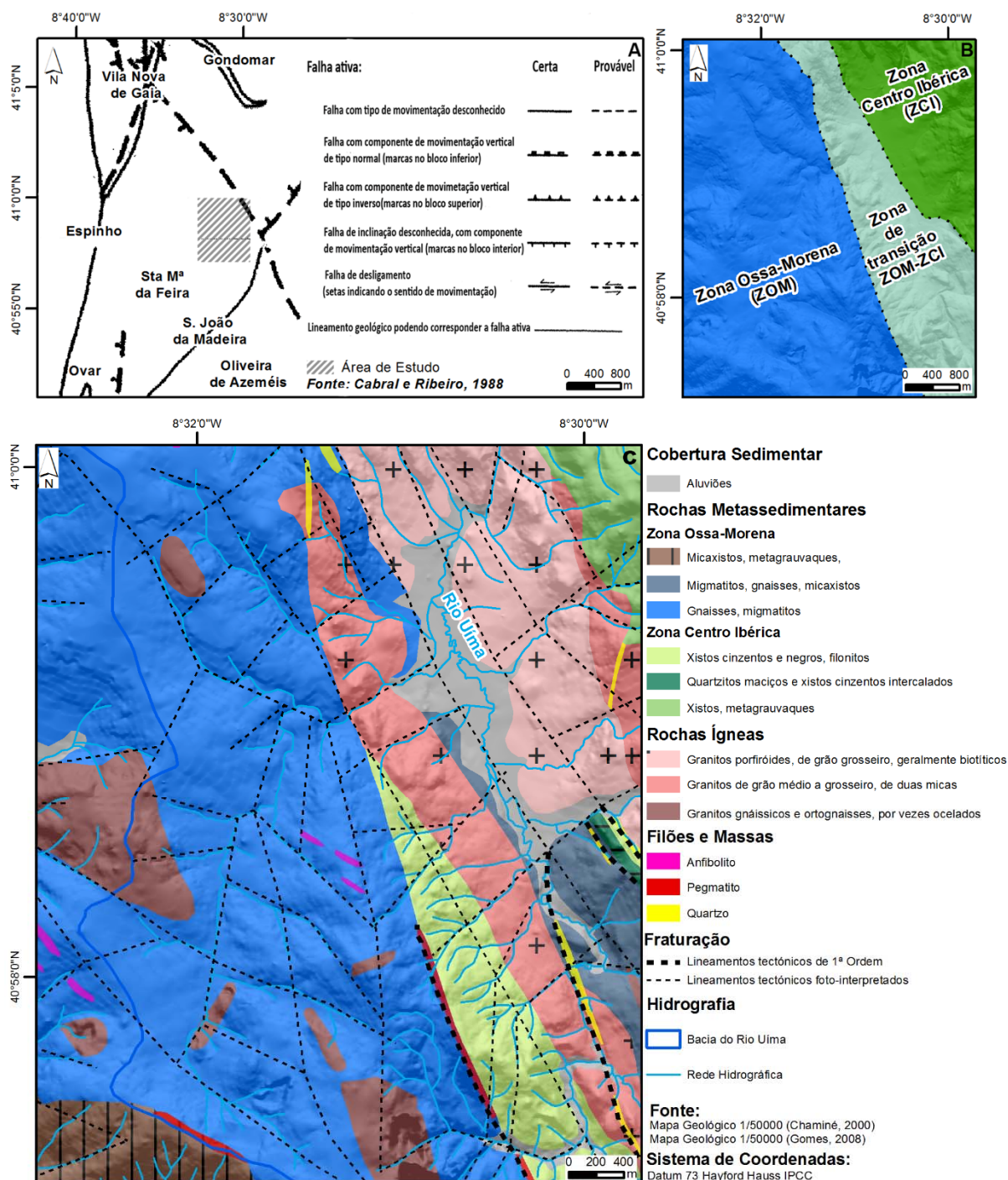


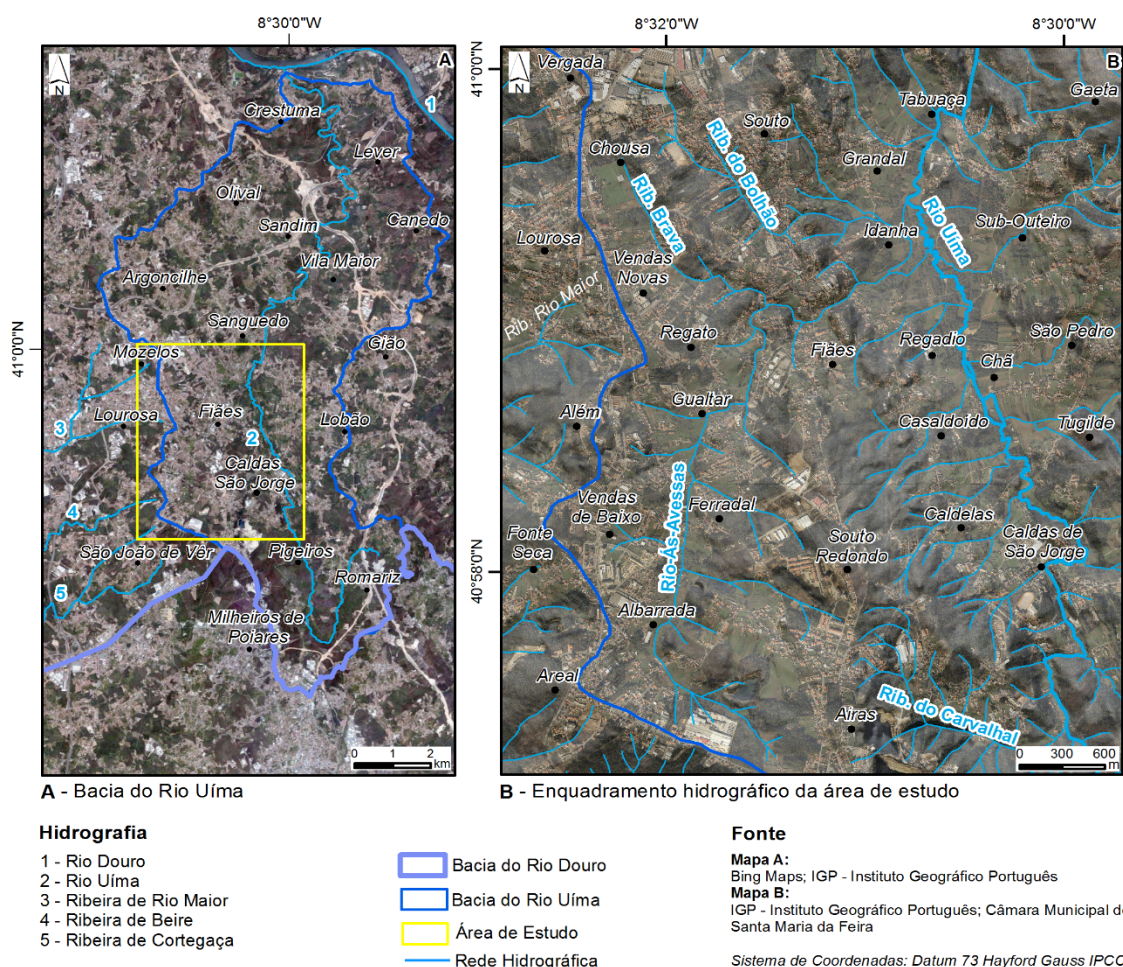
Figura 14 – A) Enquadramento geotectónico; B) Enquadramento das zonas do MH, na área de estudo; C) Enquadramento morfo-estrutural da área de estudo.



### 1.5.3 – HIDROGRAFIA E CLIMATOLOGIA DA BACIA DO RIO UÍMA

O Rio Uíma é um afluente localizado na margem esquerda do Rio Douro (figura 15-A). Nasce no Monte alto a cerca de 350m de altitude, no lugar de Duas Igrejas, freguesia de Romariz, concelho de Santa Maria da Feira e desagua na União das freguesias de Sandim, Olival, Lever e Crestuma, concelho de Vila Nova de Gaia. Apesar de ser um pequeno rio em termos de extensão (35km), da nascente até a foz percorre de Sul para Norte as seguintes freguesias: Romariz, União das freguesias de Caldas de S. Jorge e Pigeiros, Milheirós de Poiares, Escapães, União das freguesias de Lobão, Gião, Louredo e Guisande, União das freguesias de Canedo, Vale e Vila Maior, Sanguedo e União das freguesias de Sandim, Olival, Lever e Crestuma. A sua rede hidrográfica é muito densa e extensa, constituída por inúmeros ribeiros e regatos. Dos principais afluentes, destacam-se o Rio-Ás-Avessas que desagua em Fiães (figura 15-B) e a Ribeira de Gende que desagua em Sandim.

A bacia hidrográfica do Rio Uíma integra a bacia hidrográfica do Rio Douro, tendo uma área de 68 km<sup>2</sup> (figura 15-A). Corresponde a uma bacia alongada e estreita, orientada predominantemente de S para N, à exceção do seu troço mais a montante entre Romariz e Pigeiros, em que a sua orientação é de N para S.



**Figura 15 - Enquadramento hidrográfico da área de estudo.**

A bacia hidrográfica do Rio Uíma, bem como a área de estudo encontram-se nas áreas da fachada Atlântica que detêm um clima de feições marítimas, de acordo com o quadro provisório das regiões climáticas de Portugal, definido por Daveau (1985).

A distribuição da precipitação, nesta área, está relacionada com a sua disposição orográfica. A figura 16-A apresenta a distribuição da precipitação referente à bacia hidrográfica do Rio Uíma, entre 1931 a 1960. Da análise à figura 16-A, visualiza-se um aumento da pluviosidade de N para S, sendo esta explicada pela proximidade do maciço montanhoso da Freita, onde atingem-se valores entre 1800 a 2000mm de precipitação anual. As áreas junto a Mozelos, Lourosa, São João de Vêr, Arrifana e São João da Madeira apresentam valores entre 1600 a 1800mm por ano. Estes valores podem ser explicados pelos pequenos relevos existentes, designados de relevos marginais, que constituem a primeira barreira de condensação das massas de ar húmido oriundas do oceano (Gomes, 2008). Junto ao vale do Rio Douro registam-se os valores mais baixos de precipitação variando entre 1000 a 1200mm por ano. Na área E da bacia do Uíma, a precipitação vai aumentando, devido aos relevos aí existentes, enquanto na área W, da bacia a precipitação vai diminuindo, devido essencialmente às baixas elevações aí existentes. Concretamente na bacia hidrográfica do Rio Uíma constata-se um aumento de precipitação de N para S, sendo que na sua nascente, a precipitação anual varia entre os 1600 a 1800mm, na área intermédia entre 1400 a 1600mm e por fim junto à sua foz entre 1200 a 1400mm.

A figura 16-B apresenta a precipitação total anual, em mm, entre 1933 a 1984 na estação meteorológica de Fiães (Santa Maria da Feira). Através da análise da figura conclui-se que a precipitação total anual (mm) distribui-se de forma heterogénea durante o período de análise, apresentando uma média de 1598mm entre 1933 a 1984. Os valores médios de precipitação mais elevados ocorreram no ano de 1960, atingido cerca de 3500mm, enquanto os valores médios de precipitação mais baixos aconteceram no ano de 1953, registando valores próximos dos 500mm. Ainda se pode constatar que a amplitude de precipitação média ao longo do período de análise corresponde aproximadamente a 3000mm.

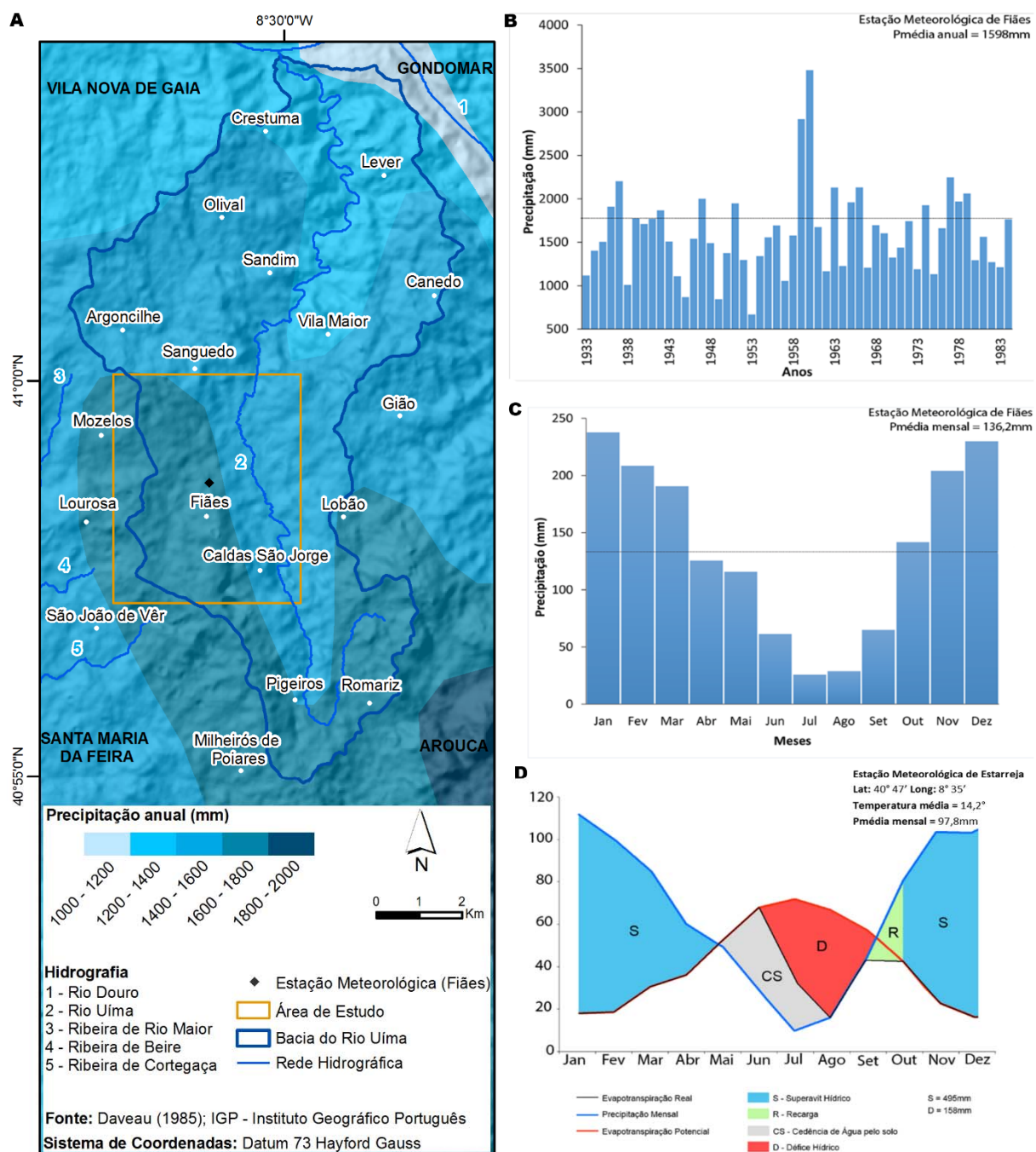
A figura 16-C evidencia a precipitação média mensal, em mm entre 1933 a 1984 na estação meteorológica de Fiães e as oscilações sazonais do regime da precipitação. Desta forma, os meses de janeiro, fevereiro, março, novembro e dezembro correspondem aos meses onde registam-se maiores valores médios de precipitação ( $> 200\text{mm}$ ), enquanto nos meses mais secos, como julho e agosto, os valores médios de precipitação apresentam-se próximos dos 25mm.

A figura 16-D demonstra o balanço hídrico/ hidrológico da estação de Estarreja entre 1956 a 1971. A consulta dos dados da estação acima mencionada deveu-se à sua proximidade com a estação de Fiães, mas também pelo facto de esta não disponibilizar dados relativos a temperatura e a evapotranspiração potencial, dados essenciais para construir o balanço hidrológico.

Da análise da figura 16-D verifica-se que nos meses de junho, junho e agosto a evapotranspiração potencial é superior à que ocorre na realidade, voltando à situação inicial a partir de setembro. Consequentemente nos meses de maio, junho, julho e agosto constata-se que os elevados valores de evapotranspiração potencial face aos valores de precipitação e evapotranspiração real correspondem ao défice hídrico. No entanto, as áreas próximas à estação de Estarreja apresentam um período húmido, uma vez que desde os meados de outubro, - início do ano hidrológico - até aos finais de abril existe um *superavit* hídrico, o que demonstra que os valores de precipitação são superiores ou iguais à evapotranspiração potencial. Após um longo período chuvoso, pode-se constatar que a capacidade útil do solo encontra-se plenamente satisfeita, isto no início do período seco, em maio. No final do mês de abril a água armazenada no solo é igual a 100mm. Ao longo do período seco, existe uma cedência da água pelo solo, chegando mesmo a ocorrer um défice hídrico de água nestas áreas, originado alguma escassez de água e consequente redução do volume de caudal em determinadas nascentes, regatos, riachos, ribeiros e mesmo em alguns rios. No entanto, na transição do período seco para o período húmido, que ocorre entre o mês de setembro e outubro, verifica-se um aumento da precipitação e uma diminuição da evapotranspiração real, levando assim a uma reposição/recarga no armazenamento de água. Finda a reposição/recarga da capacidade utilizável de água (100mm) constata-se novamente um *superavit* hídrico.

Em suma, os dados anteriormente analisados apontam para uma irregularidade climática, muito típica do NW de Portugal, sendo caracterizada pela desigual distribuição dos caudais mensais na rede hidrográfica na área em estudo (Daveau, 1985). No entanto, devido à pouca capacidade de infiltração, permeabilidade, circulação e armazenamento de água nas rochas cristalinas muito características da área em estudo (Carvalho, 2006), pode-se constatar que a abundância de linhas de água, demonstrada através das Cartas Militares de Portugal 1/25000 (Instituto Geográfico do Exército), na realidade, não corresponde em muitos casos a cursos de água permanentes, principalmente nos meses de verão. Também a disponibilidade de água subterrânea nos meses de verão é reduzida ou mesmo escassa em alguns locais.





**Figura 16 – A) Distribuição da Precipitação média anual (mm) na Bacia hidrográfica do Rio Uíma e respetiva área de estudo, segundo Daveau (1985); B) Precipitação média anual (1933-1984) na estação meteorológica de Fiães; C) Precipitação média mensal (1933-1984) na estação meteorológica de Fiães; D) Balanço Hídrico (1956-1971) da estação meteorológica de Estarreja.**



## **CAPÍTULO II**

---

### **MÉTODOS, TÉCNICAS E EQUIPAMENTOS**

## 2 – MÉTODOS, TÉCNICAS E EQUIPAMENTOS

### 2.1 – CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A metodologia utilizada no decorrer da dissertação consistiu em três fases, conforme se explicita na figura 17.

Na primeira fase, efetuaram-se as pesquisas e recolhas de dados bibliográficos e documentais inerentes ao tema das águas subterrâneas, bem como a análise da cartografia militar de 1998 para a identificação dos diversos indicadores de recursos hídricos subterrâneos na área de estudo.

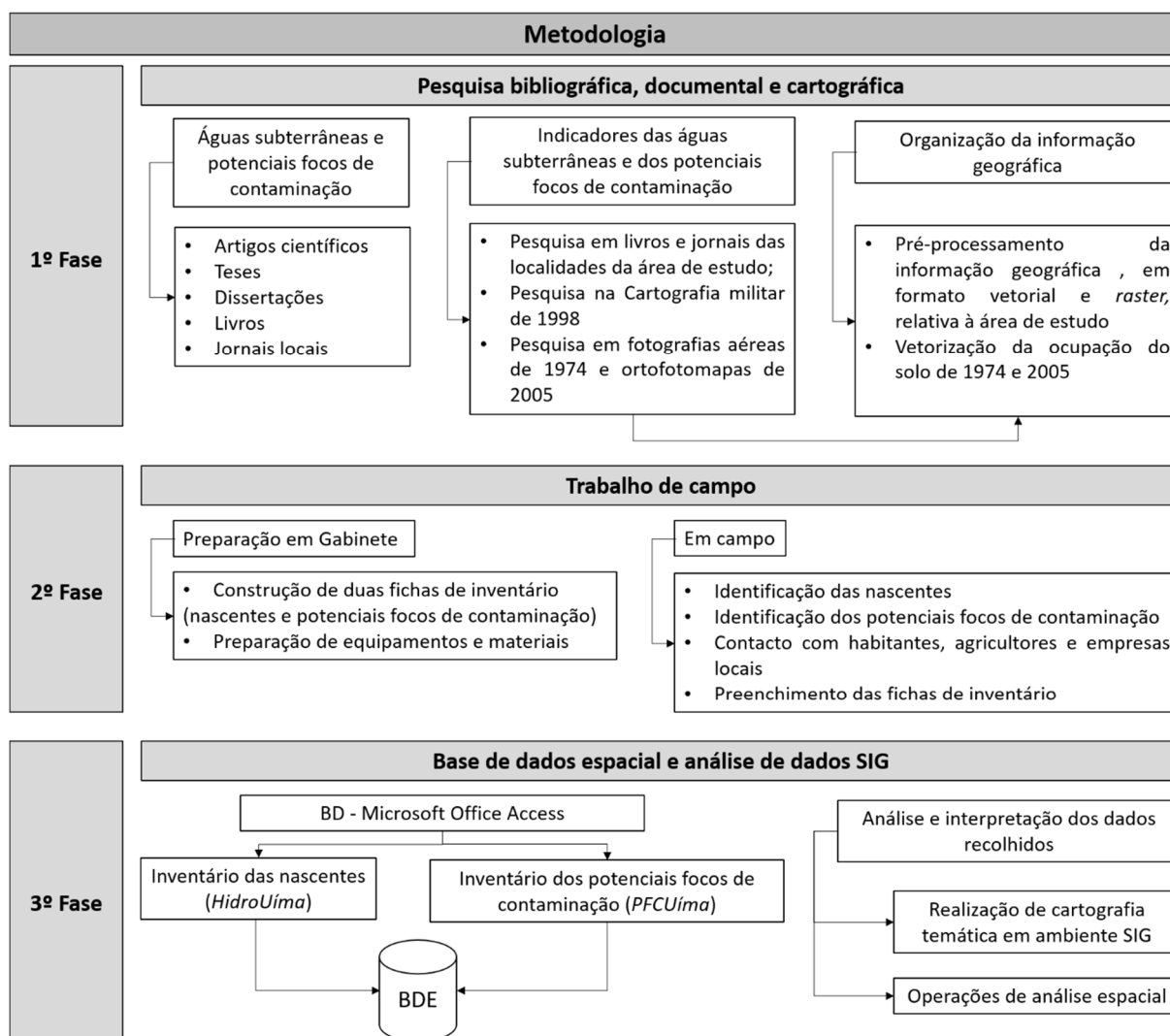
Com a prévia análise da carta militar de 1998 realizou-se a vectorização dos indicadores de água subterrânea na área de estudo, *i.e.*, chafarizes, fontes, poços, poços com engenho e tanques. Ainda nesta fase efetuou-se o pré-processamento da diversa informação em formato vetorial e *raster* relativa a área de estudo, bem como a vectorização da ocupação do solo através da fotointerpretação das fotografias aéreas de 1974 e dos ortofotomapas de 2005.

Na segunda fase, criaram-se duas fichas de inventários. A primeira ficha correspondeu à inventariação dos recursos hídricos subterrâneos para o registo das nascentes e contempla: localização, condições de ocorrência, geomorfologia, enquadramento geológico, hidrogeológico e hidroclimático, outras observações e utilização. A segunda ficha condiz com a inventariação dos potenciais focos de contaminação dos recursos hídricos subterrâneos para os registos dos possíveis focos de contaminação e está estruturada da seguinte forma: localização, geomorfologia, enquadramento geológico e hidrogeológico, descrição sucinta do foco de contaminação e descrição do(s) contaminante(s).

No campo percorreu-se a área de estudo contactando com os habitantes locais e os agricultores, sendo estes úteis para o reconhecimento das diversas nascentes que não constavam na carta militar de 1998, e também prestáveis no preenchimento de alguns aspetos das fichas de inventário. Relativamente ao preenchimento da ficha dos potenciais focos de contaminação, utilizaram-se os ortofotomapas de 2005 e diversos contatos estabelecidos com administradores das empresas locais, aquando os trabalhos de campo.

Na terceira e última fase criaram-se duas BD no *software* Microsoft Access 2013. A primeira referente ao inventário dos recursos hídricos subterrâneos, denominada de *HidroUíma*, na qual se armazenaram e organizaram as diversas informações recolhidas sobre as nascentes, resultante da análise bibliográfica/ documental e do levantamento *in loco*. A segunda relativa ao inventário dos potenciais focos de contaminação dos recursos hídricos subterrâneos, designada de *PFCUíma*, onde se armazenou e organizou as várias informações reunidas sobre os potenciais focos de contaminação, resultante da análise bibliográfica/ documental e do levantamento *in loco*.

Posteriormente, agruparam-se as duas BD (*HidroUíma* e *PFCUíma*) e gerou-se uma BDE no *software* ArcGis – ArcCatalog 10.2.2 da ESRI®. Com este procedimento conseguiu-se relacionar os dados recolhidos com outros parâmetros tais como: geologia, ocupação do solo de 1974 e 2005, declives e exposições de vertentes. Isto permitiu realizar diversa cartografia temática em ambiente SIG, bem como distintas operações de análise espacial.



**Figura 17 - Esquema metodológico seguido no estudo das águas subterrâneas e potenciais focos de contaminação num setor da Bacia Hidrográfica do Rio Uíma.**

## 2.2 – PESQUISA BIBLIOGRÁFICA E CARTOGRÁFICA

A pesquisa bibliográfica e documental recaiu em artigos científicos e técnicos, teses, dissertações, livros e jornais locais que abordassem temas relativos aos recursos hídricos subterrâneos e potenciais focos de contaminação dos recursos hídricos subterrâneos.

De tal forma, e com o objetivo de encontrar indicadores de água subterrânea (fontanários, fontes, chafarizes, tanques...), foram consultados alguns livros sobre locais da área de estudo (Sá, 1940;

Moreira, 2005; Silva, 2012) e a revista Ulfilanis Villa, que tem publicação regular desde a década de 1980 (figura 18 e 19).



**Figura 18 - Alguns livros e revistas consultadas para a identificação de elementos relacionados com os recursos hídricos subterrâneos existentes na área em estudo.**



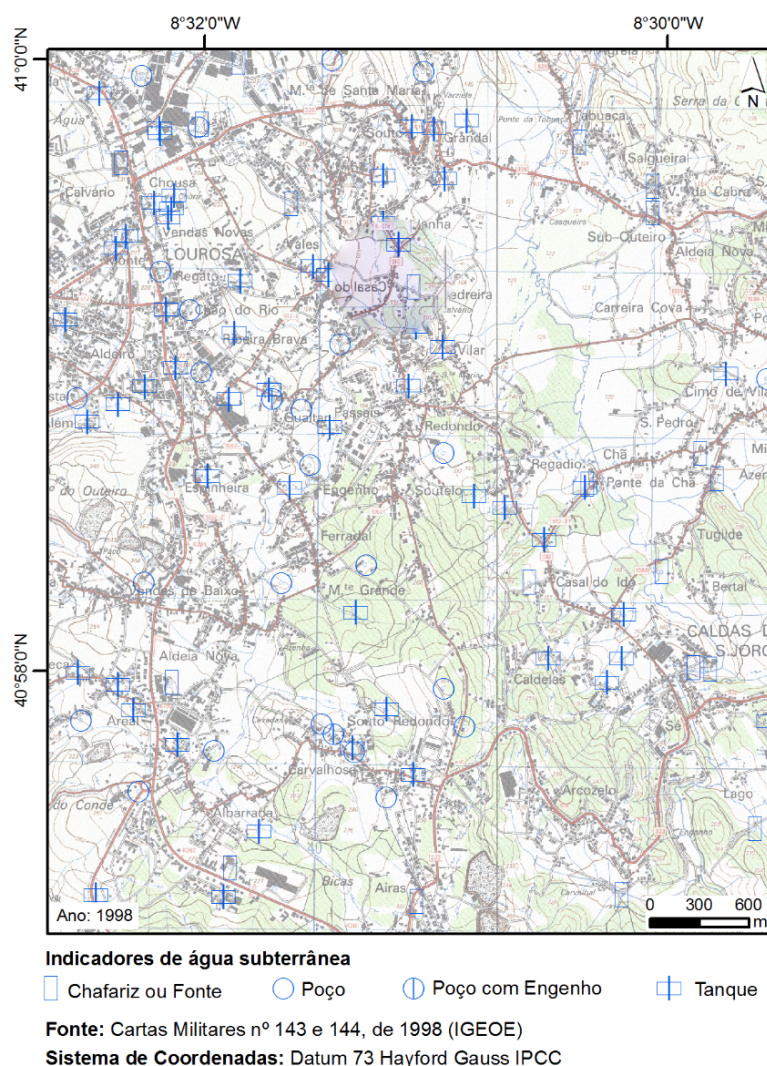
**Figura 19 - Alguns exemplos de fontes identificadas na revista “Ulfilanis Villa”: A) Fonte do Grandal; B) Fonte do Souto; C) Fonte da Costa.**

Para além da pesquisa bibliográfica e documental, a pesquisa cartográfica torna-se útil para determinar a localização dos diversos indicadores de recursos hídricos subterrâneos. Em consequência, recorreu-se ao IGEOE para a cedência da cartografia militar à escala 1/25000.

De forma a compreender a totalidade da área de estudo foram utilizadas as folhas 143 (Espinho) e 144 (Canedo) do IGEOE, relativas ao ano de 1998. Através das cartas militares e conforme demonstra



a figura 20 vetorizou-se os indicadores de água subterrânea, destacando-se chafarizes<sup>3</sup>, as fontes<sup>4</sup>, os poços, os tanques, os poços com engenho. Esta vetorização tornou-se fundamental para a realização das fases posteriores do presente dissertação.



**Figura 20 - Localização de indicadores de água subterrânea assinalados na cartografia militar de 1998, na área de estudo.**

## 2.3 – DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

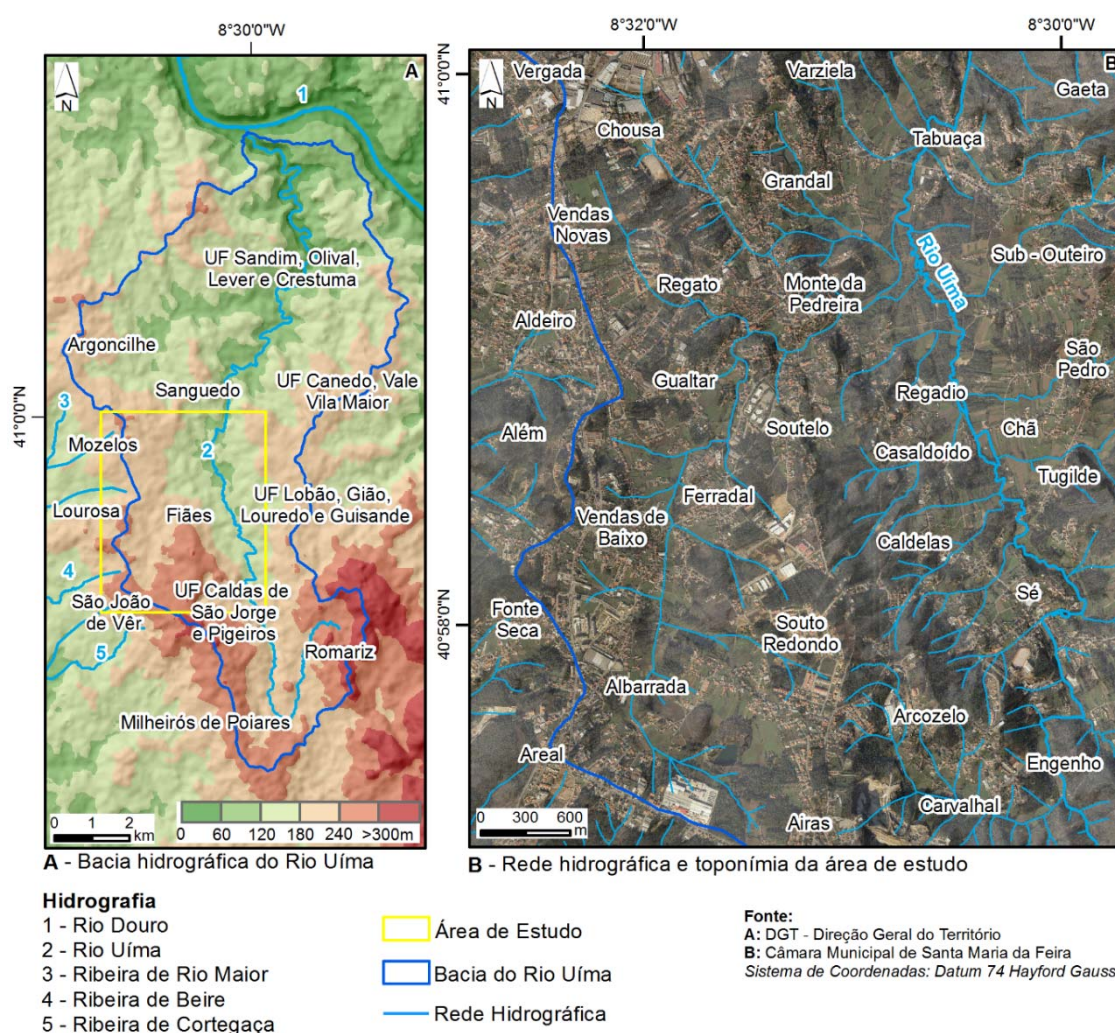
Com a análise da distribuição dos indicadores de água subterrânea, evidenciado na figura 20, mas também devido às diversas litologias e locais com enorme importância no panorama dos recursos

<sup>3</sup> Os chafarizes correspondem a uma construção, ornamental ou não, munida de uma ou mais bicas, de onde brota água potável. Geralmente, situa-se em local aberto ao público, como praças e jardins (Freitas, 2010).

<sup>4</sup> Entende-se por fonte um manancial de água que resulta da infiltração da água nas camadas permeáveis. Assim sendo uma fonte corresponde à emergência natural de água subterrânea (Freitas, 2010).

hídricos subterrâneos, como o caso das Caldas de São Jorge, delimitou-se uma área retangular com cerca de 25km<sup>2</sup>.

Conforme a figura 21, a área de estudo localiza-se num setor da Bacia Hidrográfica do Rio Uíma, estando delimitada a norte pelo lugar da Varziela (Sanguedo), a S pelo lugar das Airas (S. João de Vêr), a E pelo lugar da São Pedro (União das freguesias de Lobão, Gião, Louredo e Guisande) a W pelo lugar de Além (Lourosa), a NW pelo lugar da Vergada (Mozelos), a NE pelo lugar da Gaeta (União das freguesias de Canedo, Vale e Vila Maior), a SE pelo lugar do Engenho (União das freguesias de Caldas de S. Jorge e Pigeiros) e a SW pelo lugar do Areal (S. João de Vêr).



**Figura 21 - Delimitação, freguesias e toponímia da área de estudo.**

## 2.4 – TRATAMENTO E PRÉ-PROCESSAMENTO DE INFORMAÇÃO VETORIAL E RASTER

De modo a obter resultados finais credíveis foi necessário recolher bases cartográficas com informações em formato vetorial e *raster* sobre a área de estudo (quadro 4).



A primeira fase correspondeu ao tratamento dos dados obtidos, ou seja à digitalização, através de equipamentos de alta resolução, de dados que se encontravam em formato de papel, como é o caso das cartas militares de 1998 e das fotografias aéreas de 1974. Ambos os dados foram recortados pelas suas molduras para posterior georreferenciação. Para a georreferenciação das cartas militares utilizou-se o *software* ArcGis 10.2.2 da ESRI®, enquanto nas fotografias aéreas de 1974 foi utilizado o *software* Agisoft 1.2.0.

Numa segunda fase foram reunidas várias informações vetoriais e *raster* que, depois de analisadas e pré-processadas, serviram como base cartográfica para o estudo da distribuição dos recursos hídricos subterrâneos, dos potenciais focos de contaminação e para a elaboração de mapas temáticos, de apoio ao trabalho de campo.

**Quadro 4 - Bases cartográficas usadas na dissertação.**

Base Cartográfica	Fonte	Escala	Tópicos criados
Ortofotomapas (2005)	IGP – Instituto Geográfico Português	1/10000	Ocupação do Solo Potenciais focos de contaminação
Fotografia Aérea (1974)	IGEOE - Instituto Geográfico do Exército	1/10000	Ocupação do Solo
Cartas Militares (1998)	IGEOE - Instituto Geográfico do Exército	1/25000	Inventário dos recursos hídricos subterrâneos
Altimetria	Câmara Municipal de Santa Maria da Feira	1/5000	MDT Curvatura das vertentes Sombreado Declives Exposição das vertentes
Hidrografia	Câmara Municipal de Santa Maria da Feira	1/5000	Bacias e redes hidrográficas
Carta Geológica	Serviços Geológicos de Portugal (1962/1963) Chaminé (2000) Gomes (2008)	1/50000	Vetorização das unidades litológicas da área de estudo Vetorização do mapa hidrogeológico da área de estudo
CAOP - Carta Administrativa Oficial de Portugal 2014	DGT - Direção-Geral do Território	1/25000	Limites administrativos ao nível da freguesia, município e distrito
Sistema de coordenadas			
Sistema de referência	Elipsóide de referência	Projeção cartográfica	
Datum 73 Hayford Gauss IPCC	Hayford (ou Internacional 1924)	Transversa de Mercator	

Seguindo o quadro 4, os ortofotomapas, foram obtidos em formato *raster*, através do Instituto Geográfico Português (IGP), à escala 1/10000. Esta base cartográfica serviu para vetorizar a ocupação do solo relativo a 2005, assim como para verificar as áreas com maior concentração de potenciais focos de contaminação. As fotografias aéreas foram disponibilizadas pelo IGEOE, em formato *raster*, à escala 1/10000. A utilização desta base cartográfica permitiu a vetorização da ocupação do solo relativa a 1974. Estas duas bases cartográficas enunciadas anteriormente, através da fotointerpretação serviram para vetorizar e analisar a evolução da ocupação do solo na área de estudo entre o período de 1974 a 2005.

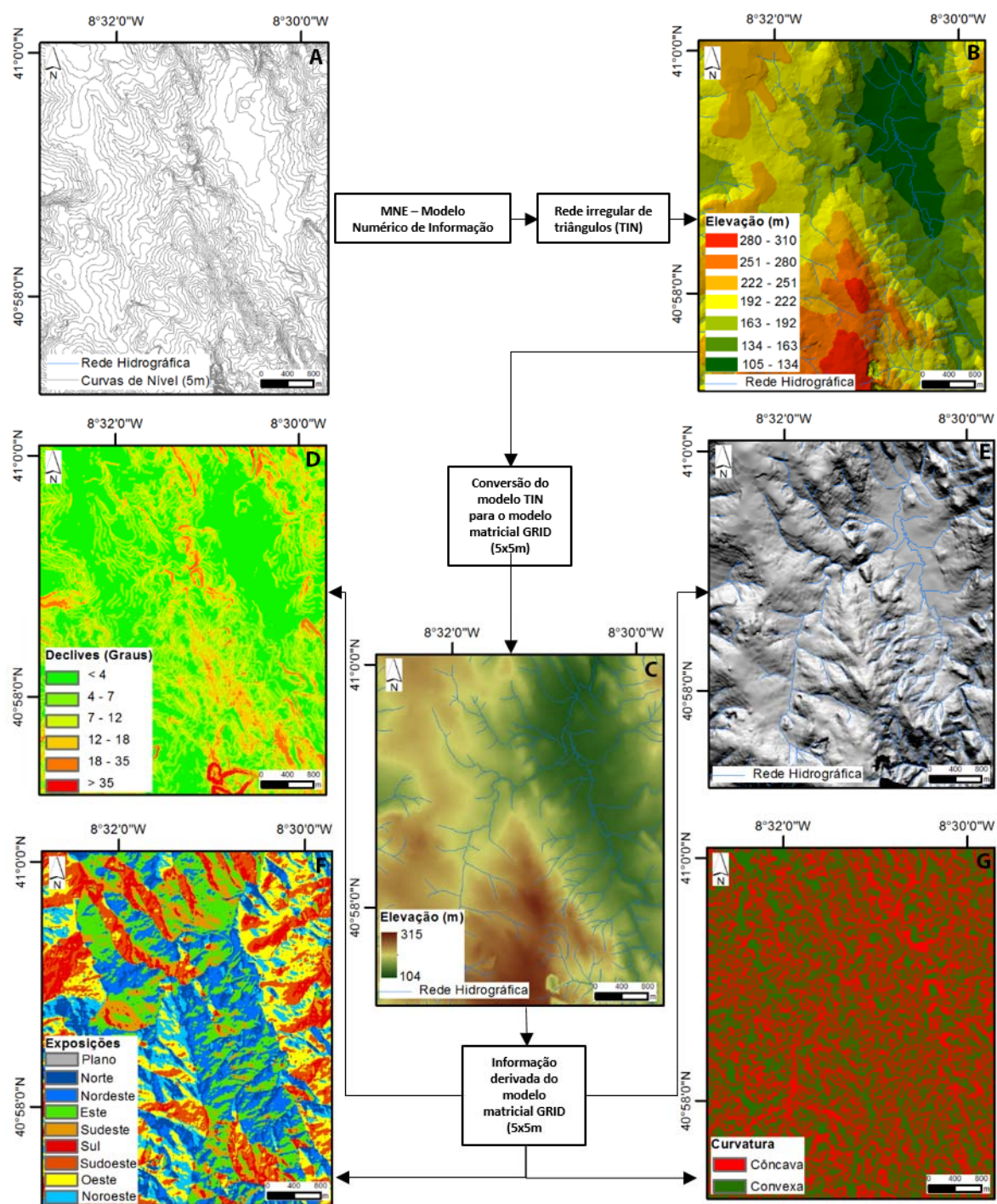
Conforme evidenciado anteriormente, as cartas militares de 1998 corresponderam à cartografia de base, para a localização e inventariação dos recursos hídricos subterrâneos.

A altimetria foi cedida pela Câmara Municipal de Santa Maria da Feira, à escala 1/5000, possuindo as curvas de nível com uma equidistância de 5 metros. Com esta base cartográfica foi possível o desenvolvimento de um Modelo Digital de Terreno (MDT<sup>5</sup>), para a área de estudo, com um *pixel* de 5m. A partir do MDT desenvolveram-se diversas operações de análise espacial, como a curvatura das vertentes, o relevo sombreado, os declives e as exposições de vertentes. A ferramenta “curvatura das vertentes” serviu para verificar se um determinado recurso hídrico subterrâneo ou potencial foco de contaminação se localizava numa vertente convexa, côncava ou retilínea. A ferramenta “sombreado”, também designada de “*hillshade*”, serviu para realçar lineamentos tectónicos evidenciados na topografia Mayer (2000). Com esta ferramenta foi possível constatar se um determinado recurso hídrico subterrâneo ou potencial foco de contaminação encontrava-se numa falha/fratura, ou perto desta, e ainda verificar a direção da mesma. Com a ferramenta “declives” verificou-se, em grau ou percentagem, o declive de uma determinada vertente. Esta ferramenta foi importante para averiguar o declive onde se localizam os diversos recursos hídricos subterrâneos e os potenciais focos de contaminação. Por fim, através da ferramenta “exposição das vertentes” verificou-se a orientação das vertentes, bem como dos recursos hídricos subterrâneos e dos potenciais focos de contaminação (figura 22).

Os dados referentes à hidrografia foram facultados, também pela Câmara Municipal de Santa Maria da Feira e encontram-se à escala 1/5000. Através desta base cartográfica foi possível verificar quais eram os rios, ribeiros, riachos que abrangiam a área de estudo e delimitar as bacias hidrográficas através da ferramenta “hidrologia”, disponibilizada pelo ArcGis 10.2.2 da ESRI®.

---

<sup>5</sup> O Modelo Digital de Terreno (MDT) surgiu nos anos 50 do século XX, com os primeiros trabalhos de Miller & La Flamme (1958). Para estes autores, o MDT correspondia a uma representação estatística da superfície contínua do terreno, mediante um número elevado de pontos selecionados com as diversas coordenadas x, y, z. Nos anos 70, Doyle (1978) introduz uma nova definição relativa ao MDT, afirmando que este corresponde a um conjunto de dados numéricos que descrevem a distribuição espacial de uma determinada característica do território. Mais recentemente Felicísimo (1994) e Olaya (2011) definem MDT como uma estrutura numérica de dados que representa a distribuição espacial de uma variável quantitativa e contínua, enquanto Matos (2008) define MDT como um conjunto de dados em suporte numérico que, para uma determinada zona, permita associar qualquer ponto definido sobre um plano cartográfico um valor correspondente à sua altitude.



**Figura 22 - Esquema metodológico da construção de um MDT – Modelo Digital de Terreno e extração de informações relativas a área de estudo. A) Modelo Numérico de Elevação; B) Rede Irregular de triângulos; C) Modelo matricial GRID; D) Declives em °; E) Relevo sombreado; F) Exposição das vertentes; G) Curvatura das vertentes.**

Segundo Carvalho (2006), não existem avanços, nem pesquisas sobre água subterrânea sem uma carta geológica, como também é definido por Chaminé et al. (2015). Assim, como os dados obtidos, relativos à cartografia geológica, estavam em formato *raster* foi necessário vetorizar as cartas geológicas 13-A de 1962 e 13-B de 1963, (antigos serviços geológicos de Portugal) disponibilizadas pelo Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG), à escala 1/50000 para formato *shapefile*. No

entanto, recorreu-se, também aos trabalhos à escala 1/100000 de Chaminé (2000) e Gomes (2008), de forma a complementar com novos dados geológicos e litológicos, as cartas geológicas anteriormente obtidas.

A Carta Administrativa Oficial de Portugal de 2014 (CAOP) foi obtida através da Direção-Geral do Território (DGT), à escala 1/25000. Com a utilização desta base cartográfica obteve-se as delimitações administrativas, neste caso, as freguesias que abrangiam a área de estudo.

Por fim, adotou-se nesta investigação, o sistema de coordenadas Datum 73 Hayford Gauss IPCC<sup>6</sup>.

## **2.5 – ELABORAÇÃO DAS FICHAS DE INVENTÁRIO DOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS E POTENCIAIS FOCOS DE CONTAMINAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS**

Os estudos hidrogeológicos são fulcrais para o conhecimento das dinâmicas ocorridas num determinado aquífero (Carvalho, 2006). Através das leituras de Pulido (1978), Custódio & Llamas (1996), Moore (2002), Friedel (2005) e Carvalho (2006), entre outros, afirmam que qualquer estudo hidrogeológico deve iniciar-se pela inventariação dos pontos de água. Segundo os mesmos autores, o inventário consiste no ponto de partida mais adequado para os estudos de carácter hidrogeológico, permitindo assim de uma forma económica e eficaz, recolher informações sobre a hidrogeologia local a estudar.

Relativamente aos potenciais focos de contaminação dos recursos hídricos subterrâneos, Zaporozec (2002) afirma que o inventário dos potenciais focos de contaminação dos recursos deve ser um processo sistemático, discriminado pelas potenciais ameaças à qualidade das águas subterrâneas.

Assim, tanto o inventário de emergências e a modelação de fluxo da água subterrânea como o dos potenciais focos de contaminação constituem metodologias importantes de suporte à gestão e ordenamento do território (Zaporozec, 2002; Carvalho, 2006; Carneiro & Carvalho, 2010; Freitas, 2010; Teixeira, 2011; Gomes, 2014; Silva et al. 2015).

Finalizada a georreferenciação no pré-processamento de informação vetorial e *raster* e dos indicadores hídricos subterrâneos da área de estudo, preparou-se em gabinete, duas fichas de inventário, de carácter multidisciplinar, sendo uma destinada aos recursos hídricos subterrâneos (figura 23-A) e a outra aos potenciais focos de contaminação (figura 24-A).

---

<sup>6</sup> O sistema de coordenadas Datum 73 foi estabelecido na década de 1970, posteriormente à re-observação da rede geodésica de Portugal Continental. O seu eplisóide de referência corresponde ao Hayford ou Internacional de 1924 e a sua projeção cartográfica incide na Transversa de Mercator. A escolha deste sistema de coordenadas prendeu-se pelo facto da maior parte das bases cartográficas adquiridas estarem neste sistema de coordenadas.

A ficha de inventário sobre os recursos hídricos subterrâneos foi elaborada com base nos seguintes autores Carvalho (2006), Freitas (2010), Teixeira (2011) e Gomes (2014) e adaptada para a área de estudo. Nesta ficha foram registadas as seguintes informações: localização, condições de acesso, enquadramento geológico, hidrogeológico e hidroclimático, toponímia, geomorfologia, topografia e utilização dos recursos hídricos subterrâneos (consumo humano, uso agrícola...). Ainda, neste documento, sintetizaram-se informações relativas às características da água, sobretudo, a cor, o cheiro e a medição do caudal (L/h), assim como a medição de parâmetros físico-químicos como a condutividade ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), a temperatura da água ( $^{\circ}\text{C}$ ) e o pH. Relativamente a componente climática, incluiu-se a temperatura do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ) e a humidade relativa (%). Adicionou-se também informações geológicas relativas ao contexto litológico e tectónico em que cada recurso hídrico subterrâneo está inserido (figura 23-B).

A ficha de inventário relativa aos potenciais focos de contaminação foi executada com suporte nos seguintes autores Zaporozec (2004) e Teixeira (2008) e adaptada a área de estudo. Nesta ficha registaram-se as seguintes informações: localização, enquadramento geológico, hidrogeológico e geomorfológico, toponímia, topografia e tipologia dos potenciais focos de contaminação. Também, neste documento, sintetizaram-se informações acerca da descrição sucinta do foco de contaminação, no qual se identificou o tipo, as características e aparências do foco de contaminação e a descrição do(s) contaminante(s), onde se verificou o tipo(s) de contaminante(s), a quantidade, o tipo de descarga, o historial de descargas ou incidentes de contaminação, a(s) áreas(s) afetada(s) pela contaminação, os problemas aparentes, as medidas protetoras e os esforços de remediação (Figura 24-B).

Em campo, estas fichas de inventário foram utilizadas nas deslocações pela área de estudo, tendo-se procedido aos registos dos dados recolhidos *in situ*.

**A**

FICHA DE INVENTÁRIO DOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS			
Nº Inventário	Lugar	Freguesia	
Concelho	Nº Carta Militar de Portugal 1/25000	Condições de Acesso	
Nome da Estrutura	Morada da Estrutura		
Construção Recente	Construção Antiga	Proprietário	Data da Estrutura
Coordenadas Geográficas (WGS84)	Lat	N	Long
		W	Cota (m)
Carta Geológica	Planta de Localização	Fotografia	
CONDIÇÕES DE OCORRÊNCIA			
A água emerge através: Mina <input type="checkbox"/> Solo <input type="checkbox"/> Rocha <input type="checkbox"/> Área Alagada <input type="checkbox"/>			
Uma Nascente <input type="checkbox"/> Um grupo de Nascentes <input type="checkbox"/> Nascente Permanente <input type="checkbox"/> Nascente Temporária <input type="checkbox"/>			
GEOMORFOLOGIA			
Planalto <input type="checkbox"/> Encosta <input type="checkbox"/> Vale <input type="checkbox"/>			
ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO, HIDROGEOLÓGICO E HIDROCLIMÁTICO			
Nº Carta Geológica	Bacia Hidrográfica	Tectónica	
Unidade hidrogeológica local ou regional			
Litologia			
Data	Hora	Cheiro	Cor
			Turbidez
Caudal (L/H)	Medição	Temperatura da Água (°C)	pH
Condutividade Elétrica (µS/cm)	Temperatura do Ar (°C)	Humidade Relativa (%)	
OUTRAS OBSERVAÇÕES			
Plantas <input type="checkbox"/> Animais <input type="checkbox"/> Algas <input type="checkbox"/> Incrustações <input type="checkbox"/> Estado da Água			
UTILIZAÇÃO			
Consumo Humano <input type="checkbox"/> Consumo Animal <input type="checkbox"/> Uso Agrícola <input type="checkbox"/> Uso Industrial <input type="checkbox"/> Balneoterapia <input type="checkbox"/> Sem uso <input type="checkbox"/>			
Lavadouro Público <input type="checkbox"/> Fontanário <input type="checkbox"/>			
Observações			
Preenchido por	Verificado por	Data verificação	

**B**

Ficha de Inventário dos Recursos Hídricos Subterrâneos	
Identificação / Localização	Nº Inventário
	Lugar
Condições de Ocorrência	Freguesia
	Concelho
Geomorfologia	Carta Militar de Portugal 1/25000
	Nome da Estrutura
Enquadramento geológico, hidrogeológico e hidroclimático	Morada da Estrutura
	Estado da Água
Outras Observações	Proprietário
	Condições de Acesso
Utilização	Data da Estrutura
	Construção Antiga / Construção Recente
	Coordenadas / Cota
	Carta Geológica
	Planta de Localização
	Fotografia
	Emergência da Água (Mina, Solo, Rocha, Área Alagada)
	Uma nascente / Um grupo de nascentes
	Nascente Permanente / Nascente Temporária
	Planalto
	Encosta
	Vale
	Nº da Carta Geológica 1/50000
	Bacia Hidrográfica
	Unidade Hidrogeológica local ou regional
	Litologia
	Tectónica
	Data
	Hora
	Cheiro
	Cor
	Turbidez
	Caudal (L/h)
	Medição (0,5L; 1L; 5L)
	Condutividade Elétrica (µS/cm)
	pH
	Temperatura da Água (°C)
	Temperatura do Ar (°C)
	Humidade Relativa (%)
	Plantas / Algas / Animais / Incrustações
	Consumo Humano
	Consumo Animal
	Lavadouro Público
	Balneoterapia
	Uso Agrícola
	Fontanário
	Uso Industrial
	Sem uso

Figura 23 - A) Ficha de inventário dos recursos hídricos subterrâneos utilizada durante o trabalho de campo. B) Esquema da ficha de inventário dos recursos hídricos subterrâneos.

**A**

**FICHA DE INVENTÁRIO DOS POTENCIAIS FOCOS DE CONTAMINAÇÃO**

Nº Inventário  Lugar  Tipologia

Freguesia  Concelho

Nº Carta Militar de Portugal 1/25000  Morada da Estrutura

Nome da Estrutura  Proprietário

Designação da Estrutura  Contacto

Cota(m)  Coordenadas Geográficas (WGS84) Lat  N Long  W

Planta de Localização  Fotografia

**GEOMORFOLOGIA**

Planalto ☐ Encosta ☐ Vale ☐

**ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO E HIDROGEOLÓGICO**

Nº Carta Geológica 1/50000  Bacia Hidrográfica

Unidade Hidrogeomorfológica Local ou Regional

Litologia

Tectónica

**DESCRIÇÃO SUCINTA DO FOCO DE CONTAMINAÇÃO**

Tipo  Características  Aparências

**DESCRIÇÃO DO(S) CONTAMINANTE(S)**

Tipo(s) de Contaminante(s)

Tipo de Descarga  Quantidade

Medidas Protectoras  Problemas Aparentes

Historial de descargas ou incidentes de contaminação

Área(s) afetada(s) pela contaminação

Esforços de remediação

Observações

Preenchido por  Verificado por  Data Verificação

**B**

Ficha de Inventário dos Potenciais Focos de Contaminação dos Recursos Hídricos Subterrâneos	Identificação/ Localização	Nº Inventário
		Lugar
		Freguesia
		Concelho
		Nº Carta Militar de Portugal 1/25000
		Nome da Estrutura
		Morada da Estrutura
		Proprietário
		Contacto
		Designação da Estrutura
	Geomorfologia	Tipologia
		Coordenadas
		Cota
	Enquadramento Geológica e Hidrogeológico	Planta de Localização
		Fotografia
		Planalto
		Encosta
	Descrição sucinta do foco de contaminação	Vale
		Nº Carta Geológica 1/50000
	Descrição do(s) contaminante(s)	Bacia Hidrográfica
		Unidade hidrogeológica ou regional
		Litologia
		Tectónica
		Tipo
		Características / Aparências
		Tipo
		Tipo de Descarga
		Quantidade
		Medidas Protetoras
		Problemas Aparentes
		Historial de descargas ou incidentes de contaminação
		Área(s) afetada(s) pela contaminação
		Esforços de remediação

**Figura 24 - A) Ficha de inventário dos potenciais focos de contaminação utilizada durante o trabalho de campo. B) Esquema da ficha de inventário dos potenciais focos de contaminação dos recursos hídricos subterrâneos.**



## 2.6 – TRABALHO DE CAMPO

O trabalho de campo é um elemento fundamental para a obtenção de novos dados e confirmação de dados existentes relativos aos recursos hídricos subterrâneos (nascentes, fontanários, chafarizes, fontes, poços, tanques...) e aos potenciais focos de contaminação (lixeiros, indústrias, cemitérios...). Desta forma, na primeira fase do trabalho de campo verificou-se e confirmou-se a existência de recursos hídricos subterrâneos, tendo por base as cartas militares 143 e 144 de 1998, bem como se assinalou alguns potenciais focos de contaminação. Finda a verificação e confirmação dos recursos hídricos subterrâneos das cartas militares, dirigiu-se o trabalho de campo para a descoberta de novos recursos hídricos subterrâneos e de potenciais focos de contaminação (Figura 25, 26 e 27).



**Figura 25 - Aspectos do trabalho de campo: A) Preenchimento da ficha de inventário dos recursos hídricos subterrâneos na fonte do Grandal (Fiães); B) Obtenção da localização e topografia da fonte do Paço (Lourosa); C) Observação do sistema de fraturação na Pedreira dos Limas (Lourosa); D) Vista sobre o Rio Uíma no lugar do Engenho (Caldas de São Jorge); E) Vista desde o S. Bartolomeu (Sanguedo) sobre o vale do Rio Uíma, a cidade de Fiães e o topo do Souto Redondo; F) Afloramento do filão de quartzo junto às Termas das Caldas de São Jorge.**





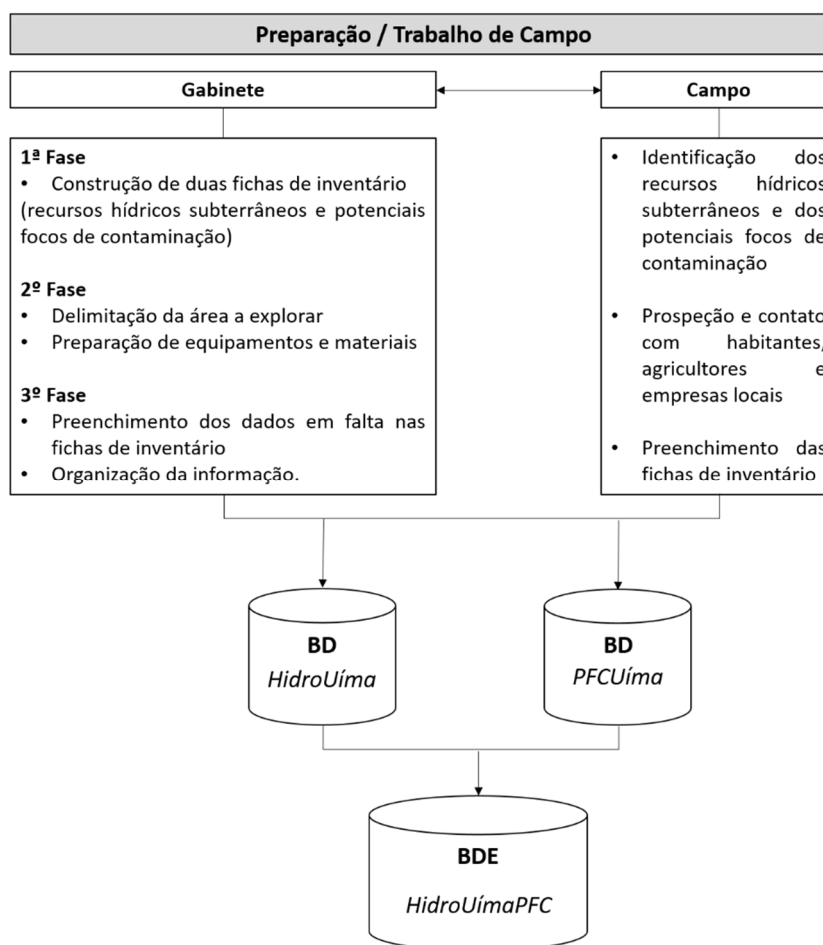
**Figura 26 - Alguns exemplos de recursos hídricos subterrâneos inventariados: A) Nascente da Relva Grande. B) Nascente do Monte Grande. C) Fonte das Termas. D) Presinha da Azenha. E) Presa Nova do Regadio. F) Nascente do Engenho.**



**Figura 27 - Alguns exemplos de potenciais focos de contaminação. A) Bomba de combustível. B, C) Pequenas lixeiras de resíduos sólidos.**

O trabalho de campo foi realizado no período horário das 9h às 19h, entre Janeiro a Maio de 2015 e englobou inúmeras deslocações à área de estudo.

O trabalho de campo foi sempre complementado pelo trabalho de gabinete. O trabalho de gabinete abrangeu três fases. A primeira fase correspondeu à elaboração das fichas de inventário (recursos hídricos subterrâneos e potenciais focos de contaminação) a segunda fase assentou nos trabalhos prévios, onde se delimitou as áreas a explorar e se preparou os equipamentos e materiais a utilizar numa próxima deslocação ao campo e a terceira e última fase coincidiu com a finalização do preenchimento das fichas de inventário, com os dados em falta e a organização da informação obtida em duas BD (figura 28).



**Figura 28 - Esquema da preparação e realização do trabalho de campo / gabinete.**

Ao longo do trabalho de campo foram anotadas informações relativas à identificação e localização de cada recurso hídrico subterrâneo e de cada potencial foco de contaminação, através do equipamento GPSmap 60CS da Garmin (figura 29-A), no sistema de coordenadas latitude e longitude, datum WGS84.

A georreferenciação dos diversos recursos hídricos subterrâneos e dos potenciais focos de contaminação através do GPS (Global Position System) foram úteis para a localização dos elementos no terreno. Porém, em gabinete verificou-se com auxílio das cartas militares, dos ortofotomapas e das fotografias do trabalho de campo que existiam dados que tinham pequenos erros de localização. Para corrigir este problema, foram realizados alguns ajustes tanto a nível das coordenadas como da altitude.

Após essas correções os dados obtidos anteriormente, em formato *GPS eXchange Format* foram convertidos para formato *shapefile*, de modo a garantir a integridade da informação.

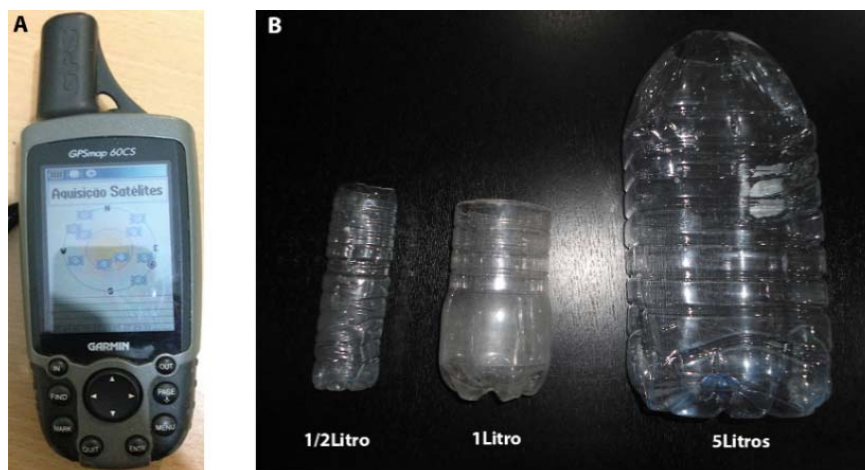
Para obter um maior rigor na informação recolhida, elaborou-se em gabinete diversos mapas, em ambiente SIG, de apoio ao trabalho de campo, tais como: mapa de bacias hidrográficas, mapa geológico, mapa hidrogeológico, mapa de fraturação, e por fim, MDT. A exportação da localização dos recursos hídricos subterrâneos e dos potenciais focos de contaminação para formato *shapefile*, possibilitou a sobreposição entre os mapas criados com os pontos obtidos. Esta sobreposição revelou-se bastante importante, pelo facto de se conseguir verificar com um elevado rigor, a qual contexto geomorfológico, geológico, hidrogeológico e bacia hidrográfica se inseria cada recurso hídrico subterrâneo e cada potencial foco de contaminação.

A interação entre o trabalho de campo e o trabalho de gabinete permitiu uma complementaridade de dados oriundos das duas partes. Assim, em gabinete foram obtidos dados relativos à temperatura do ar e à humidade relativa. Os dados anteriormente referidos foram retirados através da análise do histórico dos gráficos de observação do Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA), disponíveis em <https://www.ipma.pt/pt/otempo/obs.superficie.grafica/obsHorariosSup.jsp>.

De forma, a garantir uma maior credibilidade dos dados obtidos entre os recursos hídricos subterrâneos e a estação meteorológica optou-se por seleccionar a estação meteorológica de Arouca, devido à proximidade e às semelhanças, em termos altimétricos e climáticos, com a área de estudo. Após a recolha dos dados evidenciados anteriormente, no final de cada dia de trabalho de campo, estes foram inseridos, numa primeira etapa numa tabela, em *software* Microsoft Office Excel, onde se calculou a média entre a hora anterior com a hora seguinte e numa segunda fase, após o cálculo realizado, foram inseridos nas fichas de inventário. A aplicação deste método possibilitou um maior rigor na informação obtida e permitiu estabelecer uma relação entre a hora da medição dos parâmetros hidrológicos dos recursos hídricos subterrâneos com a temperatura do ar e a humidade relativa.

O caudal debitado por cada recurso hídrico subterrâneo também foi registado e quantificado através da aplicação do cálculo de uma média. Para medir o caudal, em cada recurso hídrico subterrâneo, foi utilizado (em função do volume de caudal debitado), um recipiente de ½ litro, 1 litro ou de 5 litros (figura 29-B). Os resultados finais foram apresentados em L/s (litros por segundo). Posteriormente, de forma a uniformizar os resultados, mas também para uma melhor compreensão dos valores converteu-se os valores de L/s para L/h (litros por hora).





**Figura 29 - A) GPSMap 60CS da Garmin. B) Recipientes utilizados para a medição do caudal ½ litro, 1 litro e 5 litros.**

Os parâmetros físico-químicos foram analisados e determinados diretamente no local de emergência das águas subterrâneas com recurso a medidores portáteis. Assim, procurou-se determinar no local de emergência da água, o pH, a temperatura e a condutividade elétrica, com recurso ao instrumento da marca Hanna, modelo HI 98129 (figura 30).



**Figura 30 - A) Instrumento Hanna modelo HI 98129. B) Utilização do aparelho na medição dos parâmetros físico-químicos da água. C) Características do instrumento Hanna modelo HI 98129 relativo ao parâmetro físico-químico temperatura (°), pH e condutividade elétrica (µS/cm).**

Relativamente aos potenciais focos de contaminação e conforme evidenciado apenas utilizou-se o GPS para a obtenção da localização e identificação dos potenciais focos contaminantes.

Com o prévio conhecimento da área de estudo, mas também devido às dificuldades na obtenção de diversos tipos de potenciais focos de contaminação foram excluídos alguns tipos, como evidência a figura 31.

<b>Tipo</b>	<b>Potencial foco de contaminação</b>	<b>Observações</b>
1	Poço / furo abandonado	Excluído
2	Poço/ furo privado	Excluído
3	Depósito à superfície	Excluído
4	Depósito subterrâneo (ex. combustível)	
5	Fertilizante de uso agrícola	Excluído
6	Pesticida/herbicida de uso agrícola	Excluído
7	Fertilizante / pesticida / herbicida de uso urbano	Excluído
8	Cemitério	
9	Estação de serviço	
10	Oficina de automóveis	
11	Fossa séptica	Excluído
12	Produção ou armazenamento de produtos químicos	
13	Lixeira	
14	Jardim com lago e vegetação de grande porte	
15	Jardim sem lago e vegetação de pequeno e grande porte	
16	Quintal	Excluído
17	Quinta	Excluído
18	Descampado	Excluído
19	Escombreira	Excluído
20	Aterro (ativo ou abandonado)	Excluído
21	Indústria	
22	Local de resíduos perigosos	Excluído
23	Sistema de irrigação (agrícola, golfe)	Excluído
24	Complexo Industrial	Excluído
25	Fonte de contaminação natural	Excluído
26	Sistema de esgoto municipal	Excluído
27	Conduta de gás ou hidrocarbonetos	
28	Estação de tratamento de águas residuais (ETAR)	
29	Estação de tratamento de águas (ETA)	Excluído
30	Matadouro	Excluído
31	Picadeiro	
32	Hospital	Excluído
33	Clínica médica / Unidade de saúde	
34	Estabelecimentos de ensino	
35	Edifícios de ação social	
36	Instalações militares	Excluído
37	Lavandaria	Excluído
38	Lavadouro	
39	Lago Artificial	
40	Mictórios	Excluído
41	Balneários e instalações sanitárias	
42	Óculos de ventilação	Excluído
43	Acesso a túneis (porta ou tampa)	Excluído
44	Outros	

**Figura 31 - Lista de potenciais focos de contaminação dos recursos hídricos subterrâneos (adaptado de Zaporozec, 2004).**

Para além de todos os materiais e equipamentos utilizados no decorrer do trabalho de campo, a auscultação dos habitantes e agricultores de faixas etárias mais idosas, tornou-se bastante útil para a descoberta, não só dos diversos recursos hídricos subterrâneos que não constavam nas cartas militares analisadas anteriormente, mas também de diversos potenciais focos de contaminação como lixeiras, lagos artificiais, entre outros.

Ao longo da realização do trabalho de campo deparou-se com vários obstáculos e constrangimentos. Na descoberta e confirmação dos recursos hídricos subterrâneos teve-se diversos problemas em chegar junto destes, pela densa vegetação, pelos fracos acessos e por alguns recursos hídricos subterrâneos se localizarem em terrenos privados, o que implicou diversas idas ao local para contactar o proprietário. Referente aos potenciais focos de contaminação o maior obstáculo esteve, em tirar fotografias aos diversos potenciais focos de contaminação, pelo facto de existirem habitantes e empresários que “*tinham medo de represálias*”. De forma a solucionar estes casos recorreu-se esporadicamente ao modo *Street View* do *Google Earth*.

Relativamente ao inventário dos recursos hídricos subterrâneos e dos potenciais focos de contaminação, em diversas situações, devido à falta de registos orais, não foi possível preencher a totalidade dos campos existentes na ficha, tais como: proprietário, datas da construção de minas, fontes e lavadouros públicos, nome da estrutura, as medidas protetoras, problemas aparentes, historial de descargas ou incidentes de contaminação e as áreas afetadas pela contaminação.

Contudo, apesar das dificuldades anteriormente evidenciadas pode-se concluir que se conseguiu uma boa representatividade de recursos hídricos e de potenciais focos de contaminação pela área de estudo.

## **2.7 – BASE DE DADOS ESPACIAL – *HIDROUÍMA*PFC**

Finalizado o trabalho de campo e conforme a figura 28, criou-se duas BD, no *software* Microsoft Access 2013, uma para o inventário dos recursos hídricos subterrâneos, designada de *HidroUíma* e outra para os potenciais focos de contaminação, denominada de *PFCUíma*

Posteriormente, agrupou-se as duas BD (*HidroUíma* e *PFCUíma*) e as bases cartográficas pré-processadas e gerou-se uma BDE, designada de *HidroUímaPFC* prevalecendo o mesmo sistema de referência espacial.

A BDE foi realizada no *software* ArcGis – ArcCatalog 10.2.2 da ESRI®, com uma estrutura vetorial e *raster*, o qual consiste numa ferramenta de gestão da informação, permitindo assim armazenar informação espacial e atributos no mesmo SGBD (Sistema de Gestão de Base de Dados).

A execução desta BDE revelou-se bastante importante, pelo facto de conseguir armazenar e organizar toda a informação sobre as temáticas dos recursos hídricos subterrâneos e dos potenciais focos de contaminação. Devido à sua componente espacial, otimizou a informação de carácter geográfico e, simplesmente, a análise e compreensão da distribuição dos recursos hídricos subterrâneos e dos potenciais focos de contaminação, pela área de estudo. Esta BDE teve, ainda, a vantagem de possibilitar que os arquivos fossem movimentados com todas as suas extensões, evitando assim a perda de dados.

Para a construção desta BDE, foram gerados conjuntos de classe, designados de *feature dataset*, nos quais foram armazenados, de forma estruturada, as *feature class*, sendo estas compostas por elementos gráficos (pontos, linhas e polígonos). De seguida, importaram-se como *feature dataset* as bases cartográficas pré-processadas, em formato vetorial, como os limites administrativos, as bacias e redes hidrográficas, as litologias, as ocupações do solo de 1974 e de 2005, a topografia entre outros e criou-se várias *feature class* para georreferenciar numa fase posterior elementos relativos ao estudo, principalmente, a localização dos recursos hídricos subterrâneos e dos potenciais focos de contaminação. As bases cartográficas oriundas em formato *raster* foram inseridas na BDE, através do *rastercatalog*. Com esta organização e estruturação da informação, por temas facilitou-se o acesso aos utilizadores na pesquisa e investigação de um determinado conjunto de dados.

Decorrido o processo de introdução das bases cartográficas na BDE, inseriu-se e processou-se os dados recolhidos no trabalho de campo na mesma. Os dados referentes à BD *HidroUíma* e a BD *PFCUíma* foram inseridos como *feature dataset*, na BDE tendo-se mantido os nomes de origem. Estes dados em conjunto com a restante informação inserida na BDE, permitiram a sobreposição e identificação da distribuição dos recursos hídricos subterrâneos, bem como dos potenciais focos de contaminação, na análise em estudo.

A estruturação desta BDE facilitou a leitura das diversas características do território, permitindo interpretar espacialmente a localização da distribuição dos recursos hídricos subterrâneos e dos potenciais focos de contaminação. Permitiu também, verificar quais as áreas, que pela conjugação de determinadas características (naturais ou antrópicas), possam estar mais vulneráveis à contaminação dos recursos hídricos subterrâneos.

Desta forma, para facilitar a leitura e interpretação da estrutura da BDE, acima explicada, elaborou-se um esquema concetual, onde se esquematizaram os diversos dados inseridos da BDE (figura 32).

Feature dataset	Feature class	Entidades	
Limites Administrativos	Espanha Portugal Concelho de Santa Maria da Feira Freguesias da área de estudo	Polígono	
Topografia	Altimetria Pontos cotados	Linhas Pontos	
Bacias e redes hidrográficas	Bacias hidrográficas do N de Portugal Bacias hidrográficas da área de estudo Rios principais do N de Portugal Rios da área de estudo	Polígono Linhas	
Área de estudo	Área de estudo	Polígono	
Indicadores de recursos hídricos subterrâneos - 1998	Inventário das cartas militares 143 e 144	Pontos	
Inventário dos recursos hídricos subterrâneos - 2015	<i>HidroUima</i>	Pontos	
Inventário dos potenciais focos de contaminação - 2015	<i>PFCUima</i>	Pontos	
Ocupação do solo	Ocupação do solo (1974) Ocupação do solo (2005)	Polígono	
Geologia	Geologia / litologia da área de estudo Hidrogeologia da área de estudo	Polígono	
RasterCatalog	Curvatura das vertentes Declives das vertentes Exposição das vertentes Sombreado das vertentes Hipsometria da área de estudo MDT da área de estudo Carta Militar 143 (Espinho) Carta Militar 144 (Canedo) Carta Geológica 13A (Vila Nova de Gaia) Carta Geológica 13B (Castelo de Paiva)	Raster	Análise e cruzamento da informação dos inventários com as bases cartográficas
	MDT do Norte e Centro de Portugal Ortofotomapas da área de estudo (2005) Fotografias Aéreas da área de estudo (1974)	Raster	

**Figura 32 - Estrutura da BDE, com as Feature Dataset, as Feature Class dos temas criados e as entidades.**

Em conclusão, esta BDE está organizada de forma a contribuir para uma melhor valorização, gestão, preservação e proteção dos recursos hídricos subterrâneos, ao nível do consumo humano, das práticas agrícolas e florestais e entre outros. Através da utilização desta BDE é possível criar suportes cartográficos, em ambiente SIG, bem como operações de análise espacial, que apoiem os processos de decisão, contribuindo assim, para o melhoramento do ordenamento do território à escala municipal.



## **CAPÍTULO III**

---

### **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

## 3 – RESULTADOS

### 3.1 – RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS

#### 3.1.1 – DISTRIBUIÇÃO DOS INDICADORES DE ÁGUA SUBTERRÂNEA NA ÁREA DE ESTUDO

Nesta fase, efetuou-se uma breve análise entre a distribuição dos recursos hídricos subterrâneos de 1998, obtidos através da pesquisa bibliográfica e cartográfica com os atuais, resultantes da BD *HidroUíma*, de 2015 (figura 33).

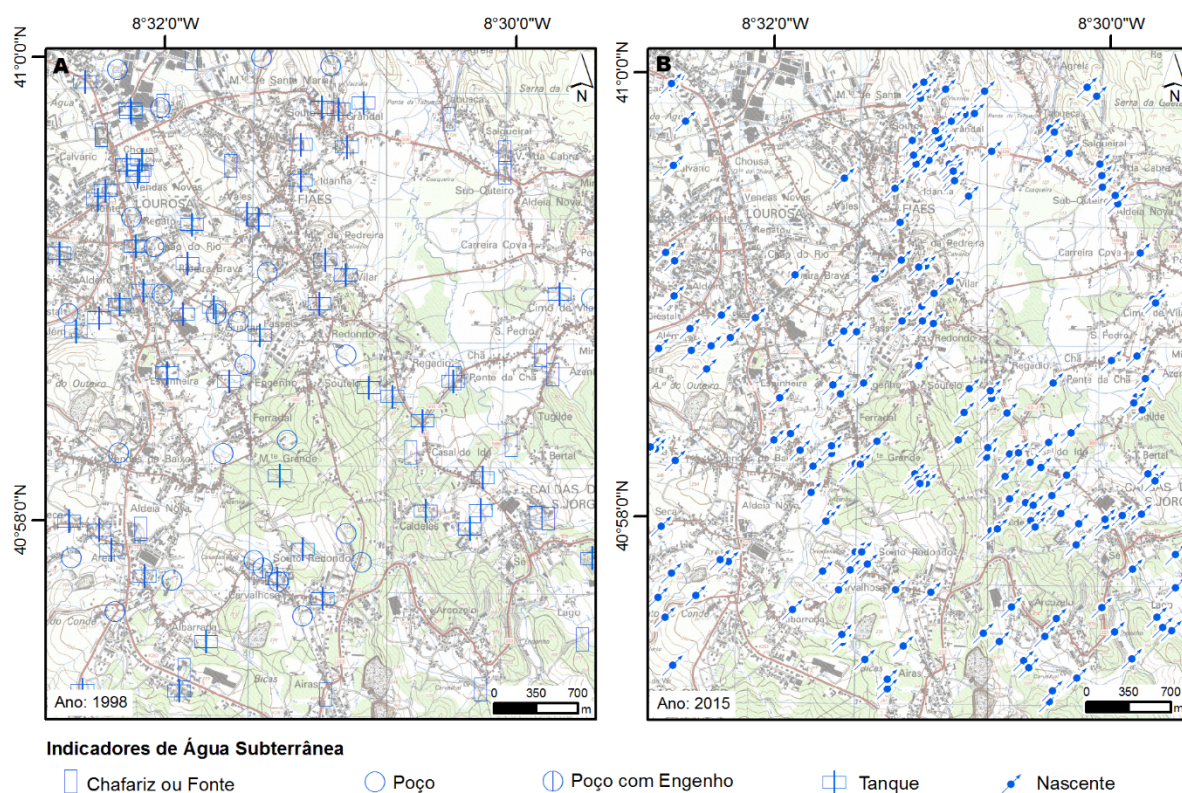
Através da análise da figura 33-A, relativamente ao inventário proveniente das cartas militares 143 e 144 de 1998, verifica-se que os indicadores de água subterrânea se encontram distribuídos de forma heterogénea pela área de estudo. No entanto, a maior concentração localiza-se a NE da área de estudo, abrangendo as freguesias de Mozelos, Lourosa, Argoncilhe e Fiães. Porém, junto da povoação das Caldas de São Jorge, existe também uma pequena concentração de indicadores de água subterrânea, principalmente os tanques.

A figura 33-B mostra a distribuição dos indicadores de água subterrânea, em 2015, proveniente dos dados obtidos da BD *HidroUíma*. Numa primeira análise constata-se que estes se distribuem de forma heterogénea, havendo o predomínio da nascente como indicador de água subterrânea. No entanto, existem lugares que se destacam por deter um número significativo de nascentes, tais como: Grandal (14 nascentes), Caldelas (12 nascentes), Souto Redondo (10 nascentes), Casaldoído e Sé (9 nascentes).

Da observação e análise da figura 33-C verificou-se que no ano de 1998, através da cartografia militar, existiam 99 indicadores de água subterrânea na área de estudo, estando estes distribuídos por 54 tanques, 24 poços, 19 chafarizes/fontes, 2 poços com engenho e 0 nascentes. Relativamente ao ano de 2015, através do inventário realizado, constatou-se a existência de 210 indicadores de água subterrânea, estando estes distribuídos apenas pelas nascentes<sup>7</sup>. Em conclusão, entre a cartografia militar de 1998 e a BD *HidroUíma* de 2015 houve um aumento de 111 (52,9%) indicadores de água subterrânea.

---

<sup>7</sup> No preenchimento da ficha de inventário de 2015, qualquer emergência de água à superfície foi considerada de nascente, independentemente do seu uso/utilização posterior.



Sistema de Coordenadas: Datum 73 Hayford Gauss IPCC

Fonte: Cartas Militares nº 143 e 144, de 1998 (IGEOE)

<b>C</b>	<b>Indicadores de água subterrânea</b>	<b>1998 (Cartas Militares IGEOE)</b>	<b>2015 (Base de dados HidroUima)</b>
	Nascentes	0	210
	Poços	24	0
	Chafarizes / Fontes	19	0
	Poços com Engenho	2	0
	Tanques	54	0
	Total	99	210

**Figura 33 - A) Distribuição dos indicadores de água subterrânea pela área de estudo, em 1998. B) Distribuição dos indicadores de água subterrânea pela área de estudo, em 2015. C) Evolução dos indicadores de água subterrânea entre 1998 e 2015.**

### 3.1.2 – HIPSOMETRIA DA LOCALIZAÇÃO DAS NASCENTES

A informação relativa à hipsometria da área de estudo foi classificada em 8 classes com intervalos de 25m (figura 34-A).

Através da análise da figura 34-A, referente à localização das nascentes por classes altimétricas, averiguou-se a existência de dois grupos de classes. O primeiro grupo incide nas classes >150 a 175m, >175 a 200m e >200 a 225m enquanto o segundo grupo nas classes 100 a 125m e >275m. Desta forma, 138 (65,7%) das nascentes estão localizadas no primeiro grupo de classes e 7 (3,3%) nascentes estão circunscritas no segundo grupo de classes. No entanto, existem outras classes que também detêm um carácter importante na distribuição das nascentes por classes altimétricas, como a classe >125 a 150m apresentando 30 (14,3%) nascentes, a classe >225 a 250m com 21 (10%) nascentes e a classe >250 a

275m exibindo 14 (6,7%) nascentes. Deste modo, pode-se constatar que a localização das nascentes tende a surgir em cotas entre 100 a 175m, próximas de linhas de água com uma forte distribuição em torno do fundo do vale do Rio Uíma.

A figura 34-B exibe a dispersão das nascentes por altitude. Numa primeira análise verifica-se que os valores estão de acordo com os evidenciados anteriormente. Numa análise posterior averiguou-se que a concentração das nascentes se localiza a meia encosta, diminuindo o seu número no topo e nas cotas mais baixas.

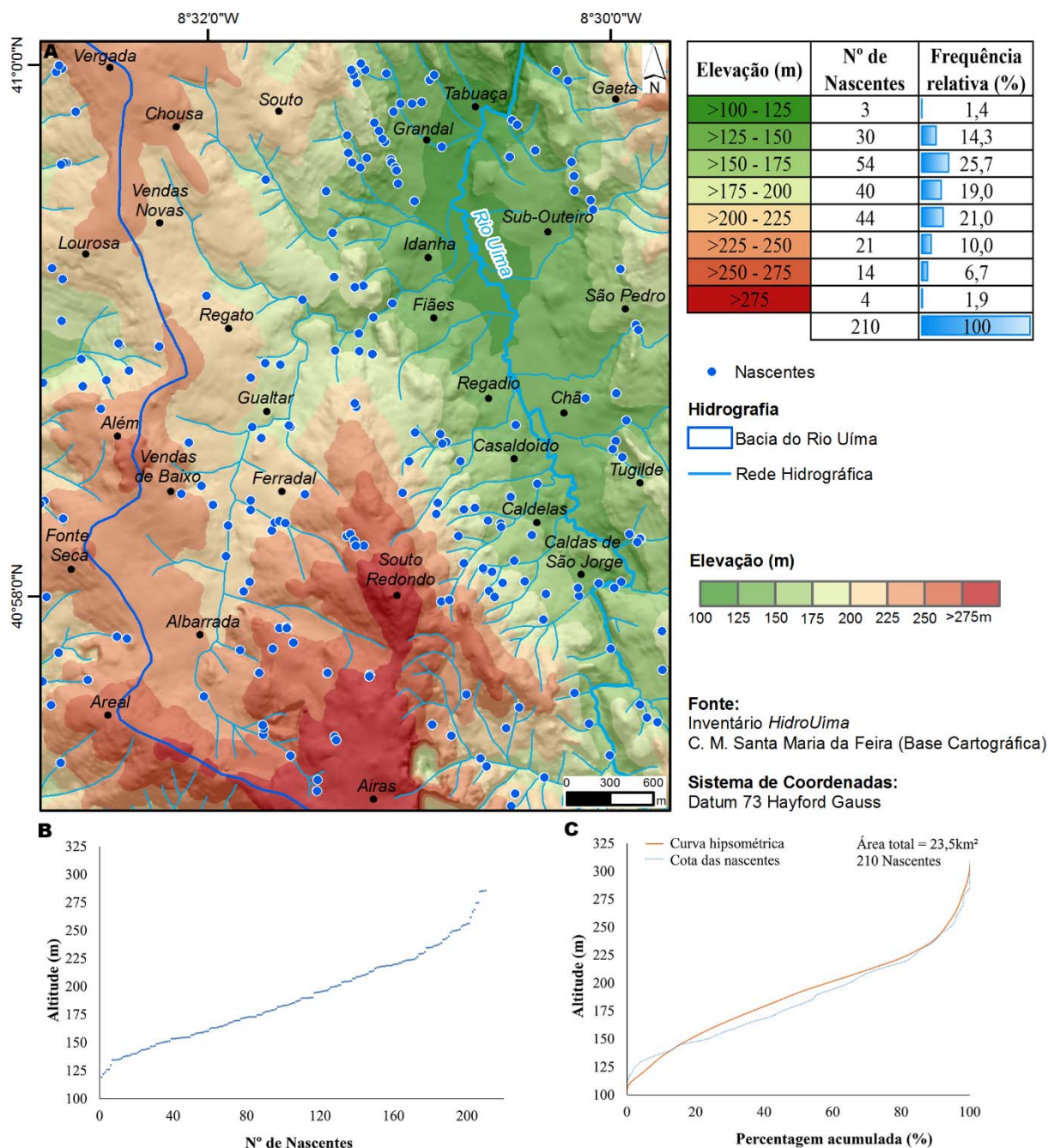
Outro assunto a ser discutido acerca da figura 34-B corresponde essencialmente às nascentes que se localizam nos topos e nas cotas mais baixas. A baixa ocorrência de nascentes nos topos está relacionada essencialmente, pelo facto destas áreas serem predominantemente áreas de infiltração e água após o circuito subterrâneo emergem a cotas mais baixas. Porém, a baixa ocorrência de nascentes a cotas próximas do fundo de vale pode estar relacionada com o substrato rochoso ou contactos geológicos a que cada nascente está inserida.

Relativamente à figura 34-C esta mostra o valor acumulado (em %) das nascentes, assim como o valor acumulado (em %) do território segundo a altitude. Tendencialmente, verifica-se que a cota das nascentes acompanha a curva da hipsometria. No entanto, constata-se que existe uma predominância de concentração de nascentes a determinadas cotas, nomeadamente entre os 120 e os 150m (Silva et al., 2015).

Ainda na figura 34-C, da relação da curva hipsométrica com a curva das nascentes, pode-se concluir que existem duas possíveis áreas de recarga e descarga dos aquíferos. A primeira área de recarga incide entre os 300m até aos 240m, contrapondo com uma área de descarga, que varia entre os 240m e os 225m. A segunda área de recarga localiza-se entre os 225m até aos 150m contrapondo com uma área de descarga, que varia entre os 150m e os 105m.

Referentemente à primeira área de recarga e descarga pode-se concluir que esta poderá estar relacionada com as nascentes que emergem, nomeadamente a montante do Rio-Ás-Avessas (figura 34-A), enquanto a segunda área de recarga e descarga corresponde às nascentes que emergem em torno do fundo do vale do Rio Uíma.

Outro facto observável e perceptível em campo relativo às nascentes, que emergem em torno do fundo do vale do Rio Uíma, corresponde ao facto destas, por vezes, estarem associadas a pequenos cursos de água temporários, nomeadamente nos meses mais chuvosos. Porém, em episódios de precipitação em forma de chuva, mais intensos, leva ao aumento do caudal, provocando assim uma probabilidade de ocorrência de inundações, no fundo do vale do Rio Uíma. Esta probabilidade de ocorrência de inundações neste local está, também, associada ao substrato litológico ser bastante impermeável e ao nível hidrostático localizar-se junto a superfície, impossibilitando a infiltração.



**Figura 34 - A) Localização das nascentes por classes hipsométricas. B) Dispersão das nascentes por altitude. C) Distribuição das nascentes e do território por altitude.**

### 3.1.3 – GEOMORFOLOGIA E AS NASCENTES

Referente à geomorfologia e nascentes, durante o trabalho de campo, verificou-se que a localização das nascentes ocorria essencialmente em encostas e vales. Desta forma, analisando os dados da figura 35, constatou-se que a maioria das nascentes 185 (88,1%) se localizavam nas encostas, nomeadamente a meia encosta e as restantes nascentes 25 (11,9%) se encontravam nos vales, principalmente junto a linhas de água. Pode-se ainda verificar, que as nascentes que se localizam a meia



encosta distribuem-se heterogeneamente pela área de estudo. Porém, verifica-se uma tendência de concentração de nascentes a meia encosta junto às povoações do Grandal, de Casaldoído, Caldelas e Caldas de São Jorge. Referentes à localização das nascentes nos vales, estas, também encontram-se distribuídos heterogeneamente pela área de estudo.

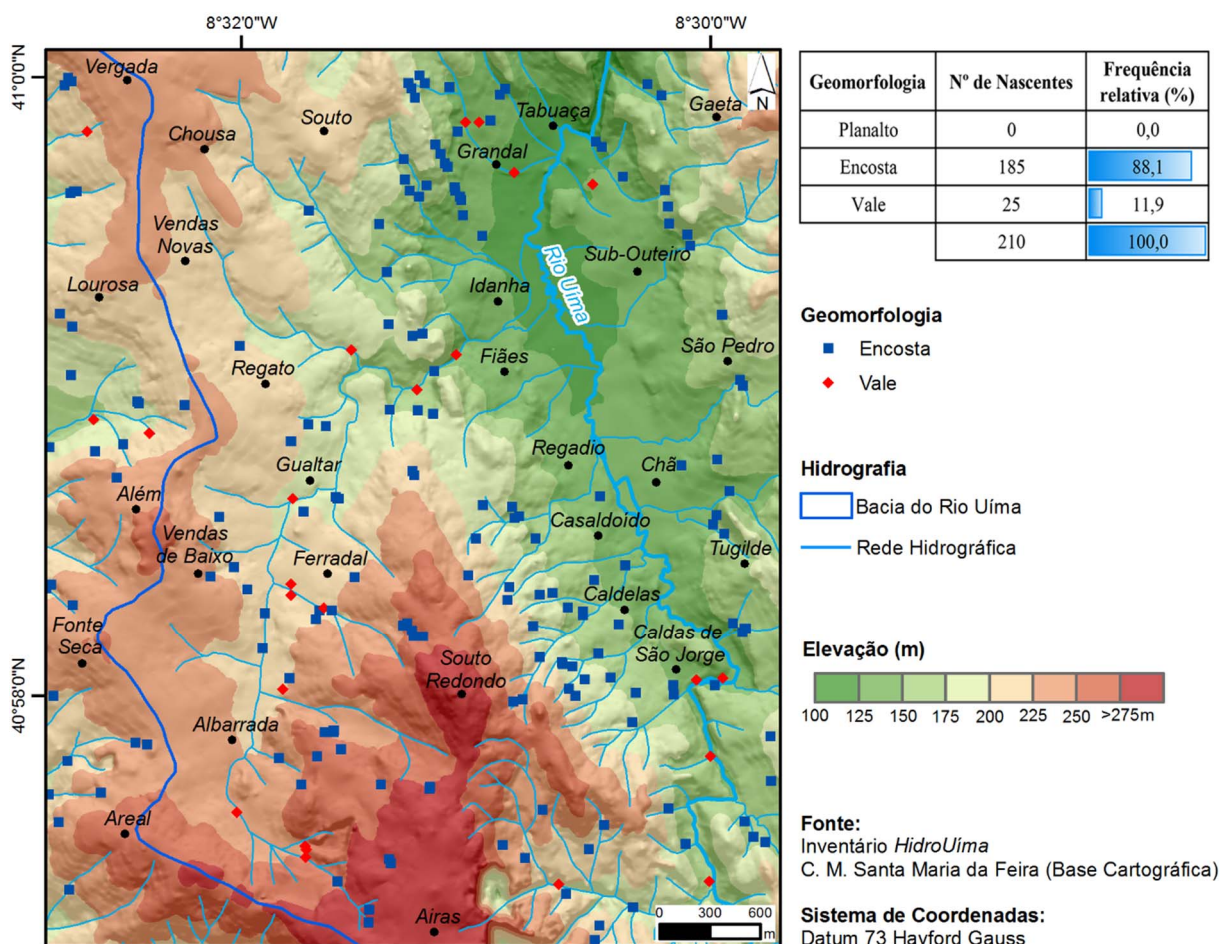


Figura 35 - Geomorfologia e nascentes da área de estudo.

### 3.1.4 – TIPO DE EMERGÊNCIA DAS NASCENTES

Através da análise da figura 36 verifica-se que a maioria das nascentes apresentam uma emergência de água à superfície guiada por minas, correspondendo a 173 (82,4%) nascentes. No entanto, 19 (9%) nascentes emergem através das fraturas e fissuras do substrato rochoso, 15 (7,1%) através do solo, em forma de bolhão e 3 (1,4%) apresentam-se em áreas alagadas (Silva et al. 2015).

Em termos espaciais, os diversos tipos de emergências de água estão distribuídos de forma heterogênea pela área de estudo. No entanto, constata-se uma tendência de concentração das emergências de água à superfície guiada por minas, junto às povoações do Grandal, Tabuaça, Sub-Outeiro, Tugilde, Caldas de São Jorge, Caldelas e Casaldoído e outra concentração das emergências de água, através do substrato rochoso na área a montante do Rio-Ás-Avessas.

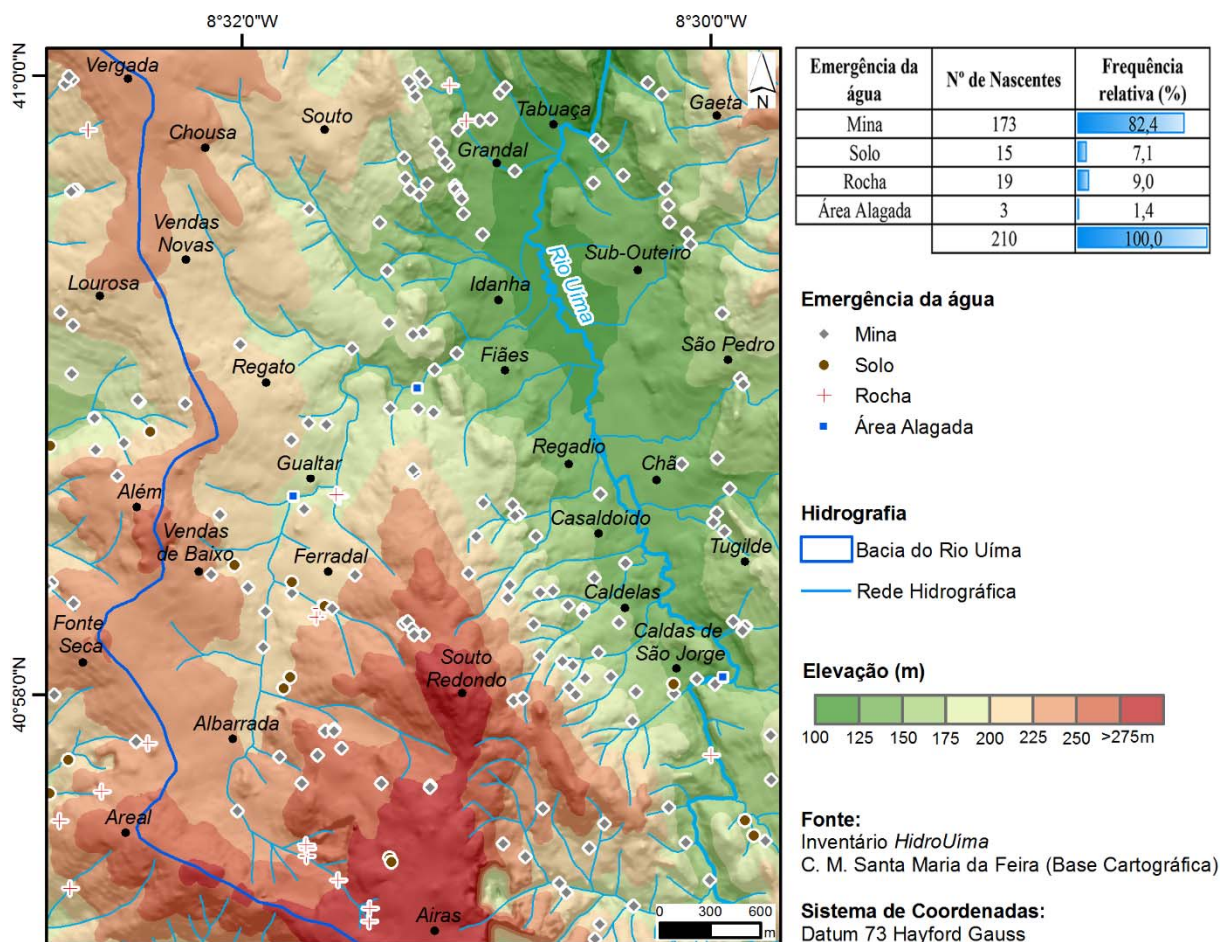


Figura 36 - Emergência das nascentes na área de estudo.

### 3.1.5 – UTILIZAÇÃO DA ÁGUA DAS NASCENTES

Relacionado diretamente com a questão da propriedade, analisaram-se as diversas utilizações da água proveniente das nascentes na área de estudo (figura 39). Desta forma, verificou-se que em 85 (40,5%) nascentes a água é essencialmente utilizada para o desenvolvimento de atividades agrícolas, como a rega, ainda muito enraizada nas áreas junto ao vale do Rio Uíma e do Rio-Ás-Avessas (Silva, 2012; Moreira, 2015) (figura 37).



Figura 37 - A e B) Tanques de armazenamento de água proveniente das nascentes para uso agrícola.

Posteriormente verificou-se que 54 (25,7%) nascentes não apresentavam qualquer utilização, correspondendo essencialmente a fontanários, lavadouros públicos e minas desativadas. Também constatou-se que 46 (21,9%) nascentes eram utilizadas para o abastecimento de fontanários e 13 (6,2%) para o abastecimento de lavadouros públicos. Outro facto observado recai sobre os avisos de “água não controlada” e “água imprópria”, colocados em quase todos os fontanários, da área de estudo, pela Câmara de Santa Maria da Feira, de acordo com o Dec. Lei nº 306/2007 de 27 de Agosto (figura 38). Esta informação revela que as nascentes não estão sujeitas a um plano de análises periódicas, mesmo as que estão indicadas com “água imprópria”, levando a que não se saiba se estas encontram-se próprias ou impróprias para consumo.



**Figura 38 - Informação colocada junto dos fontanários municipais.**

Ainda referente aos dados obtidos, 5 (2,4%) nascentes eram utilizadas para consumo humano, 5 (2,4%) pelas indústrias e 2 (1%) para o consumo animal. Desta forma, não se verificou qualquer utilização relacionado com a balneoterapia.

Em termos espaciais verifica-se uma distribuição heterogénea das diversas utilizações da água das nascentes, pela área de estudo. Porém, referente à utilização da água para o uso agrícola destaca-se a existência de uma tendência de concentração nas áreas junto às diversas linhas de água, principalmente nas povoações do Grandal, Caldelas e Caldas de São Jorge.

A utilização de água para uso agrícola está associada às nascentes que apresentam uma emergência da água à superfície guiada por minas. Conforme anteriormente evidenciado, estas surgem a meia encostas e são guiadas por regos para áreas agrícolas, a curta ou longa distância.

Um facto observável com o trabalho de campo incide no elevado número de nascentes sem qualquer uso, nomeadamente as designadas de minas. Desta forma, dada a importância que a água adquire em termos globais, regionais e municipais como um recurso natural fundamental para a sobrevivência da humanidade, considera-se que estas nascentes possam ter um enorme potencial, enquanto pontos de emergência de água subterrânea, devendo efetuar-se esforços para a sua valorização e aproveitamento.



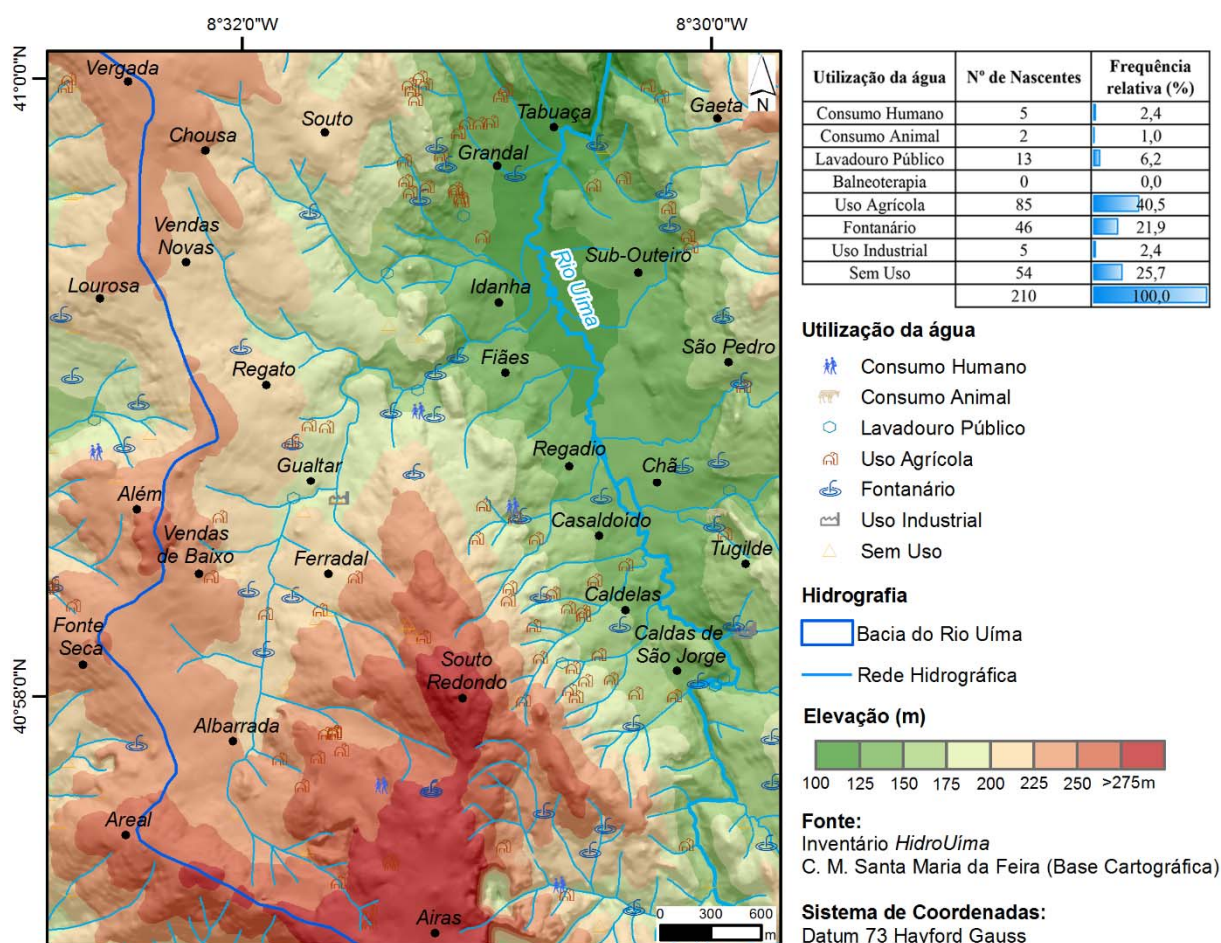


Figura 39 - Utilização da água proveniente das nascentes.

### 3.1.6 – TEMPERATURA DO AR E HUMIDADE RELATIVA

Conforme anteriormente referido, o trabalho de campo relativo ao inventário dos recursos hídricos subterrâneos desenvolveu-se no período horário das 9h às 19h, entre Janeiro a Abril de 2015. Nesta fase, foram recolhidos dados através da análise do histórico dos gráficos de observação do IPMA relativos à temperatura do ar e à humidade relativa para todos os dias, em que houve registos de trabalho de campo (quadro 5 e 6).

De forma, a garantir uma maior credibilidade dos dados obtidos entre as águas subterrâneas e a estação meteorológica optou-se por escolher a estação meteorológica de Arouca, devido à proximidade e às semelhanças, em termos altimétricos e climáticos, com a área de estudo. No entanto, poderá existir alguma margem de erro, uma vez que as águas subterrâneas com circulação pouco profunda acompanham a evolução das temperaturas médias mensais do ar, de tal modo que a sua medição deve ser efetuada *in situ*, diretamente no local da emergência da água subterrânea.

Durante o trabalho de campo verificou-se que a média da temperatura do ar correspondeu a 14,3°C, o valor mínimo a -1,3°C e o máximo a 25,7°C. Relativamente à humidade relativa, o valor médio correspondeu a 55%, existindo uma variação entre 24% a 95% (quadro 5 e 6).

**Quadro 5 - Valores médios de temperatura do ar, obtidos no *site* do IPMA para a Estação de Arouca.**

Temperatura do Ar °C (Média) - Estação de Arouca										
Dia de registo	9-10 Horas	10-11 Horas	11-12 Horas	12-13 Horas	13-14 Horas	14-15 Horas	15-16 Horas	16-17 Horas	17-18 Horas	18-19 Horas
27/01/2015	1,5	4,9	9,0	12,0	14,1	15,4	15,6	14,9	10,6	8,9
31/01/2015	7,4	7,4	7,7	7,7	7,7	8,5	7,8	6,2	5,5	5,2
02/02/2015	9,3	9,4	9,4	9,8	9,8	9,5	9,3	9,4	9,2	9,0
05/02/2015	-0,5	2,7	5,7	7,7	8,6	9,1	9,4	9,3	8,4	6,7
07/02/2015	-1,3	0,3	2,4	6,3	9,0	9,3	9,6	9,7	9,0	7,7
09/02/2015	6,7	8,2	9,5	11,1	12,6	13,6	14,2	14,2	13,0	10,9
02/03/2015	13,5	14,6	15,0	15,4	15,9	15,9	15,3	14,7	14,5	13,9
03/03/2015	12,5	13,7	14,4	15,1	15,7	15,2	14,6	14,5	14,4	13,6
04/03/2015	10,9	13,7	15,5	16,7	17,5	18,3	19,0	19,1	18,2	15,7
05/03/2015	11,1	12,8	14,6	16,1	16,9	17,4	17,8	17,7	16,9	15,5
06/03/2015	8,5	12,3	15,4	17,4	19,0	19,8	19,9	20,0	19,7	16,2
07/03/2015	9,3	14,3	18,3	21,1	22,5	22,6	22,8	22,8	21,9	18,3
08/03/2015	10,7	15,5	18,4	20,2	21,7	22,6	22,6	21,6	20,1	17,5
10/03/2015	9,5	13,2	16,2	18,4	19,4	19,7	18,4	18,6	17,3	14,7
13/03/2015	8,4	11,3	13,8	15,7	17,5	18,5	19,0	19,3	18,1	15,3
16/03/2015	10,6	13,3	14,8	15,6	16,6	17,3	16,8	15,8	14,6	12,7
17/03/2015	10,5	12,0	12,7	13,2	13,4	13,9	14,7	14,3	13,4	12,7
18/03/2015	12,1	14,2	14,8	15,8	16,3	16,0	16,3	16,4	15,3	14,3
19/03/2015	11,6	14,3	15,1	15,5	16,6	17,5	17,7	17,5	16,8	15,7
20/03/2015	14,2	15,4	17,0	18,3	19,5	20,5	20,5	20,0	19,7	17,8
25/03/2015	8,1	9,6	10,8	11,9	12,6	13,0	13,2	13,0	12,4	11,4
26/03/2015	8,2	9,4	10,6	11,2	11,5	11,8	11,7	11,6	11,5	11,4
06/04/2015	15,2	16,7	21,7	22,7	23,7	23,9	22,7	20,3	17,4	15,1
13/04/2015	19,0	21,4	22,8	23,7	24,6	25,4	25,7	24,6	21,7	17,5
15/04/2015	15,9	17,4	17,8	16,1	14,3	14,8	15,2	15,5	15,9	15,2

**Quadro 6 - Valores médios de humidade relativa, obtidos no *síte* do IPMA para a Estação de Arouca.**

Humidade Relativa % (Média) - Estação de Arouca										
Dia de registo	9-10 Horas	10-11 Horas	11-12 Horas	12-13 Horas	13-14 Horas	14-15 Horas	15-16 Horas	16-17 Horas	17-18 Horas	18-19 Horas
27/01/2015	95	87	71	58	51	47	48	54	65	77
31/01/2015	80	82	79	77	77	70	71	79	82	85
02/02/2015	89	88	87	85	84	85	85	84	84	85
05/02/2015	90	80	65	55	52	52	51	50	49	54
07/02/2015	93	90	82	63	48	45	43	41	43	50
09/02/2015	53	49	45	42	39	36	33	32	36	43
02/03/2015	85	80	79	77	76	77	79	82	82	83
03/03/2015	91	82	76	72	69	73	77	77	78	82
04/03/2015	85	67	53	45	40	36	32	33	35	44
05/03/2015	32	29	26	25	26	27	27	27	27	28
06/03/2015	56	43	37	35	32	32	31	28	28	44
07/03/2015	67	48	35	28	26	25	24	24	28	43
08/03/2015	69	49	38	32	31	30	32	38	43	53
10/03/2015	74	58	52	50	51	54	56	59	64	73
13/03/2015	87	75	63	53	44	39	34	27	34	52
16/03/2015	45	38	36	34	31	31	38	48	56	65
17/03/2015	67	58	55	54	53	52	49	52	57	60
18/03/2015	65	53	50	46	42	42	39	36	36	38
19/03/2015	67	55	51	49	46	42	40	41	44	47
20/03/2015	51	45	42	40	38	37	38	39	40	47
25/03/2015	61	54	49	46	43	41	43	51	58	62
26/03/2015	84	88	90	91	91	90	90	91	91	92
06/04/2015	63	42	33	34	34	38	45	57	70	80
13/04/2015	48	36	33	32	31	29	29	32	43	66
15/04/2015	73	68	69	77	85	82	78	76	74	75

### 3.1.7 – PROPRIEDADES ORGANOLÉTICAS E CAUDAL

No que toca às propriedades organoléticas, das 210 nascentes inventariadas, em apenas 188 se conseguiu reunir condições para anotar no momento da análise *in situ*, informações relativas ao aspeto da água como a cor, o cheiro e a turbidez. Desta análise, verificou-se que apenas 3 (1,4%) nascentes apresentavam odores fortes e 5 (2,4%) nascentes apresentavam cores acastanhas e acinzentadas, encontrando-se turvas (figura 40). Nas restantes nascentes o aspeto da água era inodoro, incolor e límpido.



**Figura 40 - Exemplo de águas subterrâneas com cor acinzentada e turva.**

Relativamente ao caudal, das 210 nascentes inventariadas, apenas em 100 (47,7%) nascentes se conseguiu reunir as condições para medir o caudal. A medição, também foi realizada *in situ*, com recipientes de ½ litro, 1 litro e 5 litros, conforme a exigência do caudal. Das medições efetuadas, apurou-se que os caudais variavam entre 5,6 L/hora a 8571,4 L/hora (figura 41).

Na tabela da figura 41, organizou-se os valores do caudal da água em três classes. A primeira classe correspondeu de 5,6 L/hora a 1500 L/hora, a segunda classe superior a 1500 L/hora a 3000 L/hora e a terceira classe superior a 3000 L/hora a 8571,4 L/hora. Analisando a tabela da figura 41 verificou-se que 65 (65%) nascentes apresentam valores de caudal mais reduzidos, inserindo-se assim na primeira classe. Na segunda classe incluem-se os caudais de 27 (27%) nascentes e por fim na terceira classe inserem-se 8 (8%) nascentes.

Relativamente a distribuição espacial verifica-se que as nascentes com maior caudal distribuem-se de modo heterogêneo pelas povoações de Além, Souto Redondo, Ferradal e Sub-Outeiro. As nascentes com um caudal intermédio e reduzido encontram-se distribuídas também de forma heterogênea, pela área de estudo. No que diz respeito às nascentes com caudal mais reduzido existe uma tendência de concentração, junto às povoações do Grandal, Caldelas e Caldas de São Jorge.



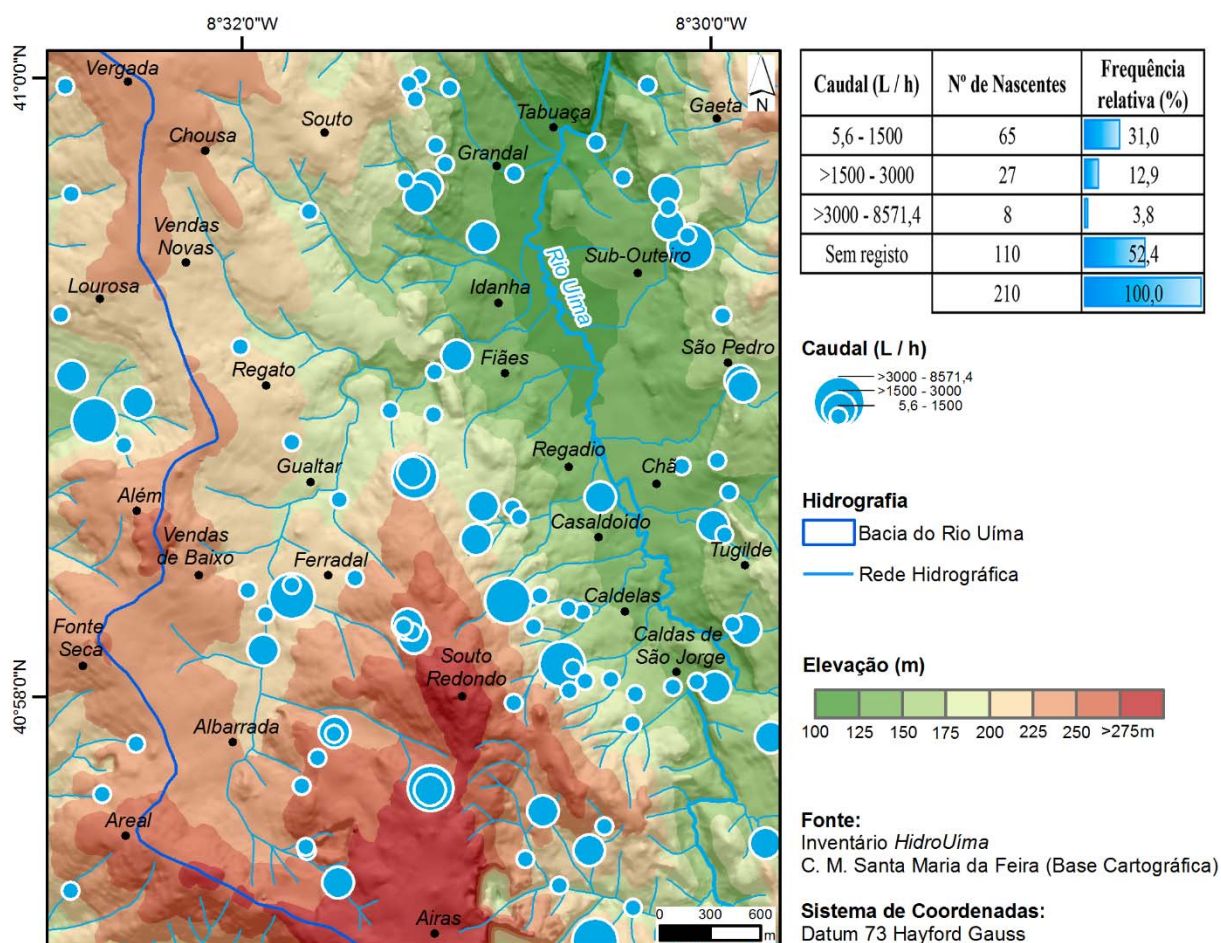


Figura 41 - Caudal das nascentes.

#### 4.1.8 – ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICAS DAS NASCENTES

Conforme Carvalho et al. (2005), o inventário hidrogeológico, é normalmente acompanhado pela realização de análises físico-químicas da água, como a medição do pH, da condutividade elétrica e da temperatura, possibilitando assim, uma caracterização inicial dos principais tipos de circulação subterrânea. Ainda, neste seguimento, este tipo de análises permitem a identificação do comportamento das nascentes.

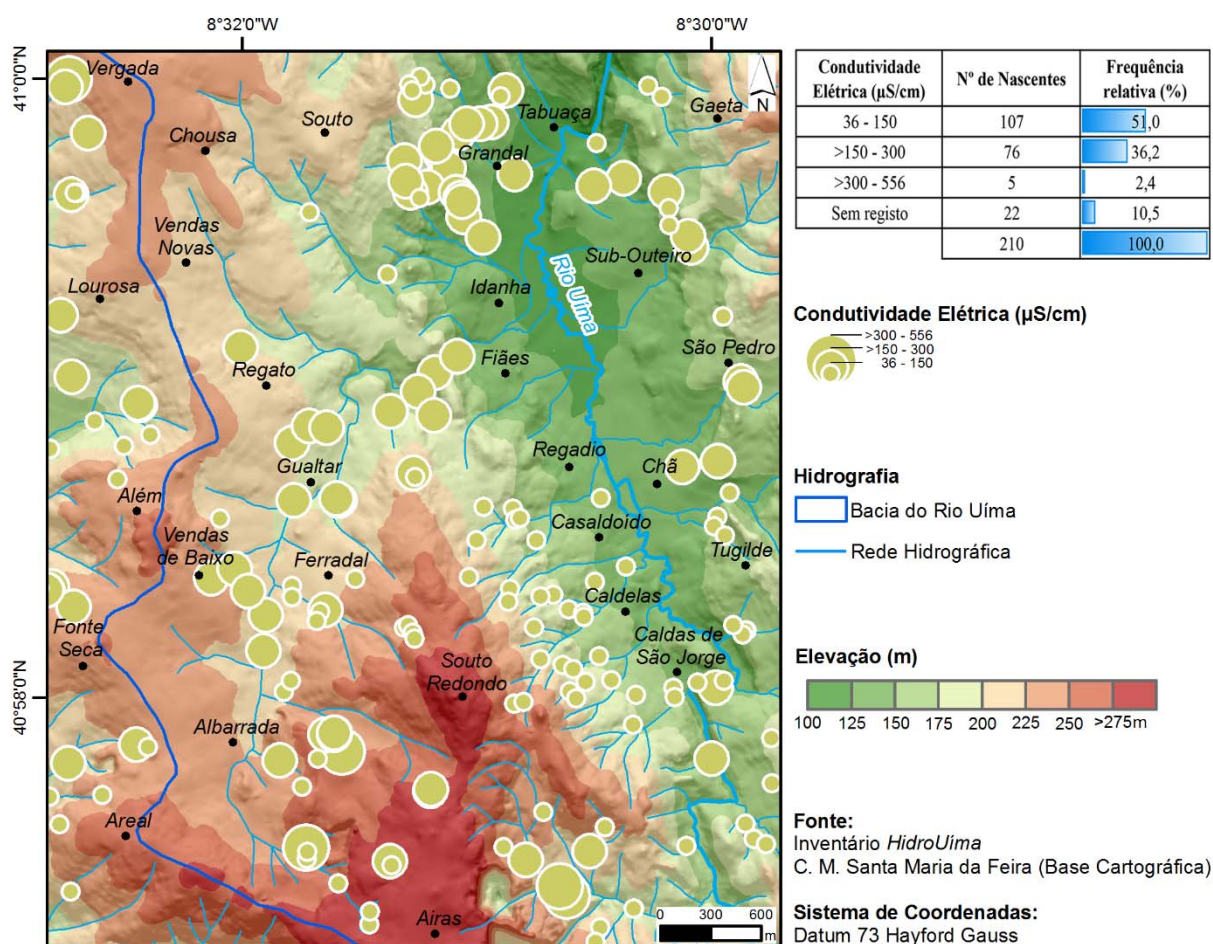
Os parâmetros físico-químicos, foram obtidos *in situ* com o medidor portátil, como anteriormente referido, onde a sonda foi colocada num recipiente com água recolhida no local de emergência. Foram analisadas 188 nascentes, porém em 22 nascentes não existiu condições para a recolha de água.

##### 4.1.8.1 – Condutividade elétrica

A condutividade elétrica das nascentes da área de estudo varia entre 36µS/cm e 556 µS/cm, sendo o valor médio de 156µS/cm.

Os valores referentes à condutividade elétrica foram distribuídos por três classes. A primeira classe correspondeu de 36µS/cm a 150µS/cm, a segunda classe 150 µS/cm a 300µS/cm e a terceira classe no intervalo 300µS/cm a 556µS/cm. Analisando a tabela da figura 42 verificou-se que 107 (51%) nascentes enquadravam-se na classe com os menores valores de condutividade elétrica, 76 (36,2%) encontravam-se na classe intermédia e 5 (2,4%) nascentes situavam-se na classe mais elevada.

Espacialmente verifica-se que as povoações com valores mais baixos de condutividade elétrica (36µS/cm a 150µS/cm) são Casaldoído, Regadio, Caldelas Souto Redondo e Caldas de São Jorge. Referentes às condutividades elétricas intermédias (>150 µS/cm a 300µS/cm) verifica-se que estas se concentram nas povoações do Grandal, Sub-Outerio, Fiães, Gualtar e Vendas de Baixo. Por fim, relativamente às condutividades elétricas altas, ou seja entre >300µS/cm a 556µS/cm estas encontram-se distribuídas heterogeneamente pelo território destacando-se 1 nascente na povoação da Vergada, 2 em Albarrada e 2 nas Airas.



**Figura 42 - Condutividade Elétrica (µS/cm) da água das nascentes.**



#### 4.1.8.2 – pH

Os registos de pH das nascentes da área de estudo variaram entre 2.9 e 8.6. Este resultado indica que a esmagadora maioria das nascentes (184) apresentam um pH tendencialmente ácido, exceto 2 que apresentam um pH neutro (7.0) e 1 que aponta para um pH alcalino. A nascente que apresenta um pH alcalino corresponde as Termas das Caldas de São Jorge, com o valor de 8.6.

Relativamente aos valores de pH, estes foram apresentados em três classes: 2.9 a 5.0; >5.0 a 6.0 e >6.0 a 8.6. Observando o quadro da figura 43 constata-se que 95 (45%) nascentes encontram-se na primeira classe, ou seja no pH mais ácido. Na classe dos valores intermédios surgem 82 (38,9%) nascentes e por fim na classe dos valores mais elevados condizem com 22 (5,7%) nascentes.

Relativamente a distribuição espacial do pH das nascentes verifica-se que os valores mais ácidos localizam-se distribuídos heterogeneamente, na área de estudo, porém salienta-se as povoações de Albarrada e Airas por deterem uma maior concentração de nascentes com pH mais ácido (2.9 a 5.0). As povoações com um maior número de nascentes de pH de >5.0 a 6.0 são o Ferradal, as Vendas de Baixo, o Areal, Chã e Sub-Outeiro. Referente as nascentes, com pH entre >6.0 a 8.6 estas distribuem-se nas povoações do Grandal, Lourosa e Caldas de São Jorge.

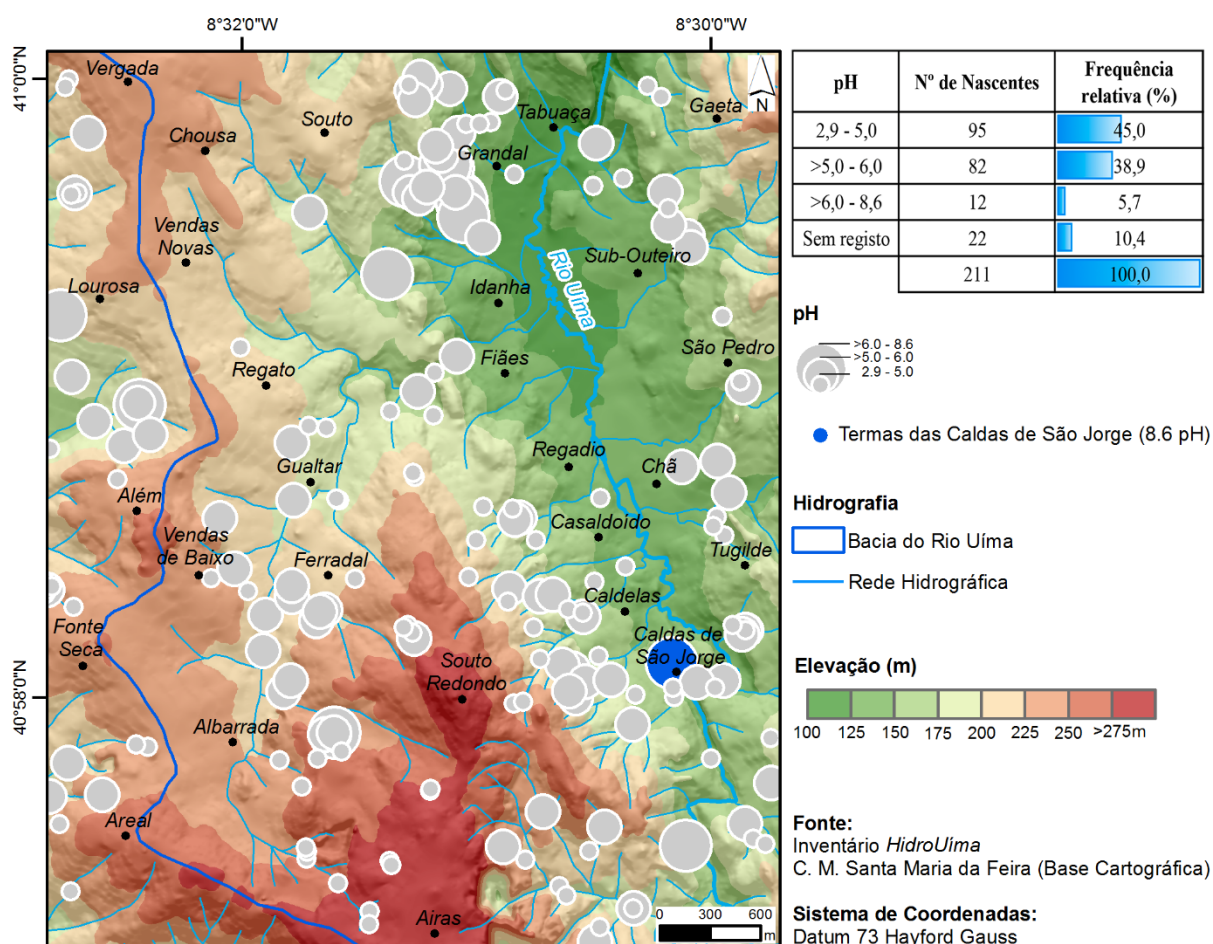


Figura 43 - pH da água das nascentes.

#### 4.1.8.3 – Temperatura da água

A temperatura da água das nascentes, na área de estudo, variou entre 9°C e 23°C. No entanto, a nascente que apresenta a temperatura da água mais elevada corresponde às Termas das Caldas de São Jorge, com o valor de 23°C.

Através da análise da tabela da figura 44, observou-se que os valores da temperatura da água foram organizados em três classes. Na primeira classe as temperaturas da água variam entre 9°C a 13°C, na segunda classe as temperaturas da água localizam-se entre >13°C a 15°C e na terceira classe as temperaturas da água recaem entre >15°C a 23°C. Relativamente ao número de nascentes por cada classe verificou-se que 122 (57,8%) nascentes localizavam-se na classe intermédia, ou seja entre >13°C a 15°C, 43 (20,4%) encontravam-se na classe >15°C a 23°C e 24 (11,4%) distribuíam-se pela classe dos 9°C a 13°C.

Espacialmente observa-se que as diferentes classes de temperatura da água (°C) se distribuem de forma heterogénea pela área de estudo. No entanto, constata-se que o elevado número de nascentes com temperatura da água >13 a 15°C localiza-se nas povoações de Caldelas, Casaldóido, Gualtar, Além, Airas e as com temperatura da água >15 a 23°C na povoação das Caldas de São Jorge.

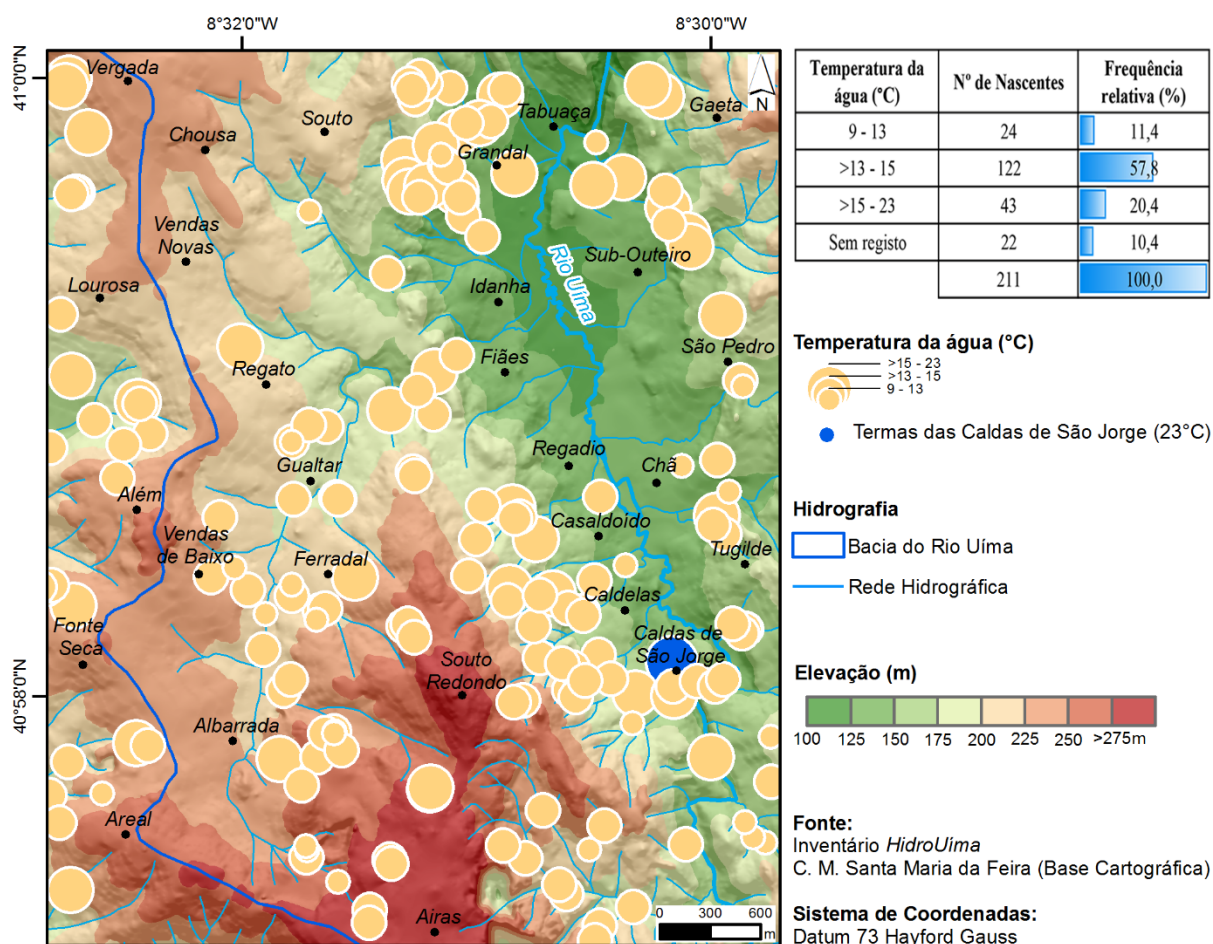


Figura 44 - Temperatura da água (°C) das nascentes.



### 3.1.9 – CRUZAMENTO DOS DADOS FÍSICO-QUÍMICOS (CONDUTIVIDADE ELÉTRICA, pH E TEMPERATURA DA ÁGUA)

A figura 45 apresenta três gráficos de dispersão (figura 45-A, 45-B, 45-C), com as variáveis físico-químicas, referentes às nascentes analisadas.

O intuito desta análise estatística incide, essencialmente, na verificação de possíveis grupos de valores, bem como de valores anómalos, também designados de *outliers*<sup>8</sup>.

A figura 45-A apresenta a relação entre as variáveis pH e condutividade elétrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). Através da sua análise constata-se a existência de dois grupos, sendo estes separados pela média da condutividade elétrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). O primeiro grupo corresponde a um grupo mais concentrado, localizando-se entre 4 a 6.5 na variável de pH e entre 30 até 156 $\mu\text{S}/\text{cm}$ , na variável da condutividade elétrica. O segundo grupo corresponde a um grupo mais disperso, variando, na mesma, entre 4 a 6.5, na variável de pH, no entanto, relativamente à condutividade elétrica os valores variam entre 156 $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Ainda no que diz respeito a esta figura averigua-se a existência de três *outliers*. O primeiro *outlier* corresponde a um valor de pH de 7.2 e de condutividade elétrica de 246 $\mu\text{S}/\text{cm}$ , o segundo condiz com um valor de pH de 2.9 e de condutividade elétrica de 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$  e por fim, o terceiro apresenta um valor de pH de 4 e condutividade elétrica de 556 $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

A figura 45-B ostenta a analogia entre as variáveis temperatura da água ( $^{\circ}\text{C}$ ) e condutividade elétrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). Através da sua sub-divisão verifica-se a presença de dois grupos, sendo o primeiro grupo separado pela média da condutividade elétrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) e o segundo grupo pela média da temperatura da água ( $^{\circ}\text{C}$ ). Assim sendo, o primeiro grupo apresenta um grupo mais concentrado, localizando-se entre 13,1 $^{\circ}\text{C}$  a 15,2 $^{\circ}\text{C}$ , na variável da temperatura da água e entre 30 até 156 $\mu\text{S}/\text{cm}$ , na variável da condutividade elétrica. O segundo grupo corresponde a um grupo mais disperso, apresentado valores entre 14,2 $^{\circ}\text{C}$  a 15, na variável da temperatura da água e entre 156 $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 246 $\mu\text{S}/\text{cm}$  relativo à condutividade elétrica. Em termos de *outliers*, destaca-se a presença de cinco. O primeiro *outlier* condiz com um valor de temperatura da água de 9 $^{\circ}\text{C}$  e de condutividade elétrica de 115 $\mu\text{S}/\text{cm}$ , o segundo corresponde a um valor de temperatura da água de 9,5 $^{\circ}\text{C}$  e de condutividade elétrica de 228 $\mu\text{S}/\text{cm}$ , o terceiro mostra um valor de temperatura da água de 10,5 $^{\circ}\text{C}$  e condutividade elétrica de 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ , o quarto exibe um valor de temperatura da água de 12,2 $^{\circ}\text{C}$  e condutividade elétrica de 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$  e por fim o quinto apresenta um valor de temperatura da água de 17,2 $^{\circ}\text{C}$  e condutividade elétrica de 223 $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

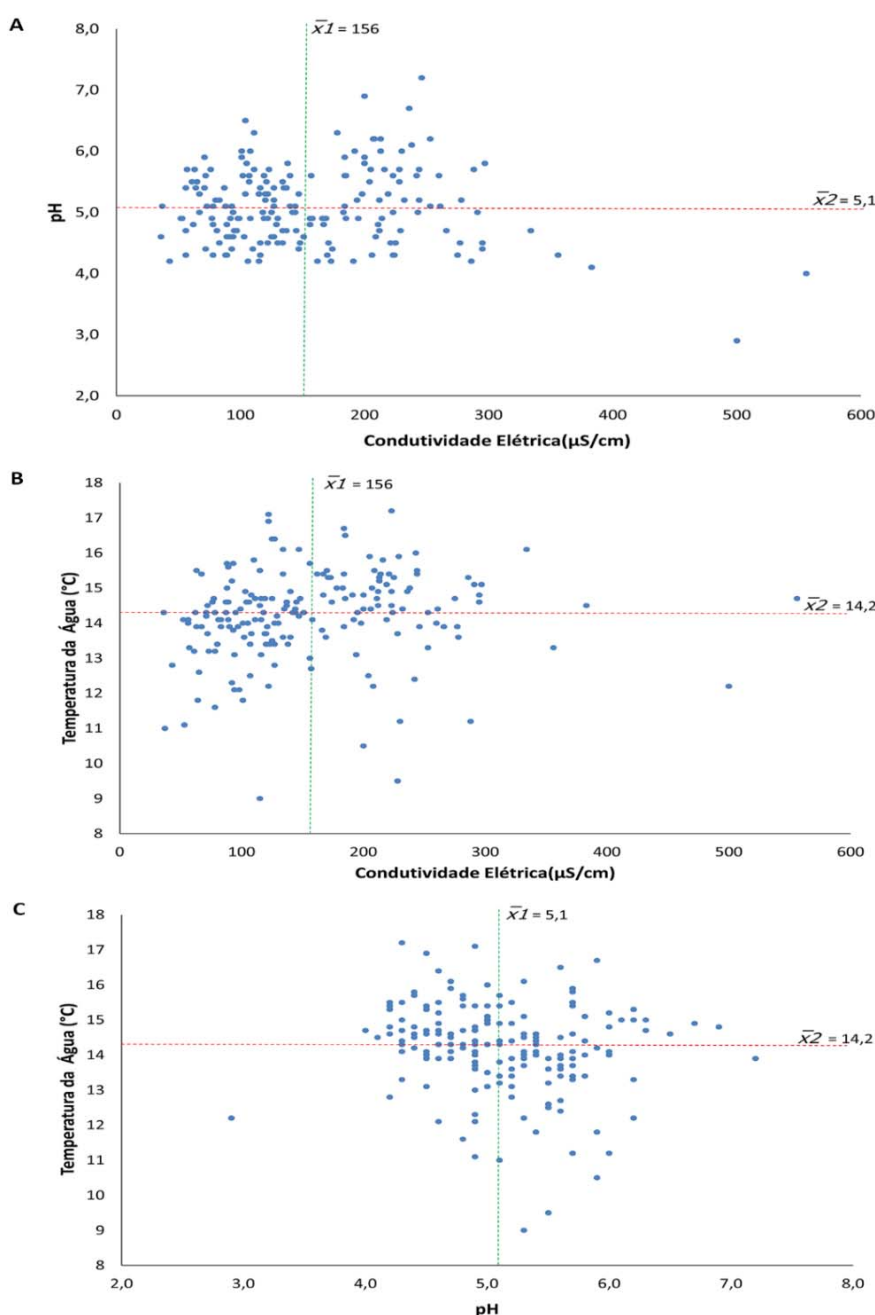
A figura 45-C exibe a relação entre as variáveis temperatura da água ( $^{\circ}\text{C}$ ) e pH. Analisando a figura em questão averigua-se a existência de um grupo bastante concentrado, variando entre 12,8 $^{\circ}\text{C}$  e 16,1 $^{\circ}\text{C}$  de temperatura da água e entre 4 a 6 de pH. Relativamente aos *outliers*, destaca-se a presença de

---

<sup>8</sup> Os *outliers* correspondem a um ponto de observação que se encontra distante de outras observações (Maddala, 1992).

cinco. O primeiro *outlier* corresponde a um valor de temperatura da água de 12,2°C e de pH de 2.9, o segundo mostra um valor de temperatura da água de 9°C e de pH de 5.3, o terceiro condiz com um valor de temperatura da água de 9,5°C e pH de 5.5, o quarto apresenta um valor de temperatura da água de 10,5°C e pH de 5.9 e por fim o quinto exibe um valor de temperatura da água de 13,9°C e pH de 7.2.

Através das leituras de Rogers (2003), Carvalho (2006) e Afonso et al. (2007) pode-se concluir que as nascentes localizadas nos *outliers*, anteriormente evidenciados, podem estar associadas a problemas de contaminação, ou mesmo de poluição das águas subterrâneas, pelo que importa complementar o estudo destes pontos com análises mais detalhadas.



**Figura 45 - A) Relação entre o pH com a condutividade elétrica (μS/cm); B) Relação entre a temperatura da água (°) com a condutividade elétrica (μS/cm); C) Relação entre a temperatura da água (°) com o pH.**

### 3.2 – ANÁLISE ESPACIAL DOS PARÂMETROS DA ÁGUA

No seguimento da apresentação dos resultados optou-se pela realização de uma espacialização dos dados da análise físico-química (condutividade elétrica, da temperatura da água, do pH) e do caudal através de uma operação de análise espacial, designada de interpolação.

A interpolação corresponde a um processo matemático utilizado para prever o valor de um determinado atributo numa localização precisa com base em valores de atributos derivados dos pontos vizinhos localizados dentro da mesma área de estudo (Childs, 2004).

Dentro das diversas operações de análise espacial relativas à interpolação optou-se pelo método *Natural Neighbor* pelo facto deste calcular a média ponderada dos diversos dados anteriormente referidos, criando assim padrões de distribuição.

#### 3.2.1 – ESPACIALIZAÇÃO DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA, TEMPERATURA DA ÁGUA, PH E CAUDAL

A figura 46-A evidencia a interpolação dos dados referentes à condutividade elétrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) pela área de estudo. Através da análise da figura infra referida, verifica-se que as áreas com valores mais baixos de condutividade elétrica apresentam-se nas povoações de Souto Redondo e Caldelas, enquanto os valores mais altos localizam-se perto das povoações de Albarrada e das Airas. Os valores elevados de condutividade elétrica nestas áreas encontram-se próximos de antigas e atuais pedreiras. Desta forma, partindo da lógica de Afonso et al. (2007) os valores elevados de condutividade elétrica, poderão estar associados a processos de contaminação das águas subterrâneas. Porém, convém referir que os valores elevados de condutividade elétrica podem estar associados ao tipo de rocha que a água subterrânea atravessa e ao tempo de circulação da água, ou seja quanto maior o tempo da água subterrânea a emergir, mais sais dissolvidos poderá ter. As águas subterrâneas com condutividades baixas correspondem essencialmente a circuitos curtos, o que leva a que estas estejam pouco tempo em contacto com o substrato rochoso.

Relativamente a figura 46-B, que apresenta a espacialização dos dados da temperatura da água<sup>9</sup> ( $^{\circ}\text{C}$ ) das nascentes, verifica-se que existe um predomínio de áreas com uma variação de temperatura da água entre  $14^{\circ}\text{C}$  a  $16^{\circ}\text{C}$ . No entanto, existem duas áreas onde a temperatura da água se encontra inferior a  $10^{\circ}\text{C}$ . A primeira área incide na povoação da Tabuaça enquanto a segunda localiza-se junto à povoação de Gualtar. Relativamente à variação que ocorre na temperatura da água das nascentes, esta pode ser explicada, pelo circuito hidráulico subterrâneo ser maior ou menor, consoante a nascente. Segundo Custodio & Llamas (1996), a grandes profundidades a temperatura da água sofre influência do gradiente

---

<sup>9</sup> Na realização da interpolação não foi introduzido o valor do pH e da temperatura da água ( $^{\circ}\text{C}$ ) referente às águas das Termas das Caldas de São Jorge.

geotérmico, aumentando cerca de 1°C por cada 33m de profundidade. Desta forma, conclui-se que quanto maior e mais profundo for o circuito, maior a temperatura e quanto menor e menos profundo for o circuito, menor a temperatura. Outro facto a referir para explicar o comportamento das nascentes da área de estudo corresponde à temperatura das águas das nascentes analisadas apresentarem valores de temperatura inferiores a 25°C, levando a que todas elas sejam designadas de hipotermiais segundo a classificação de Fraústo da Silva & Vaz (1988), o que se poderá supor que todas as nascentes estejam associadas a circuitos pouco profundos.

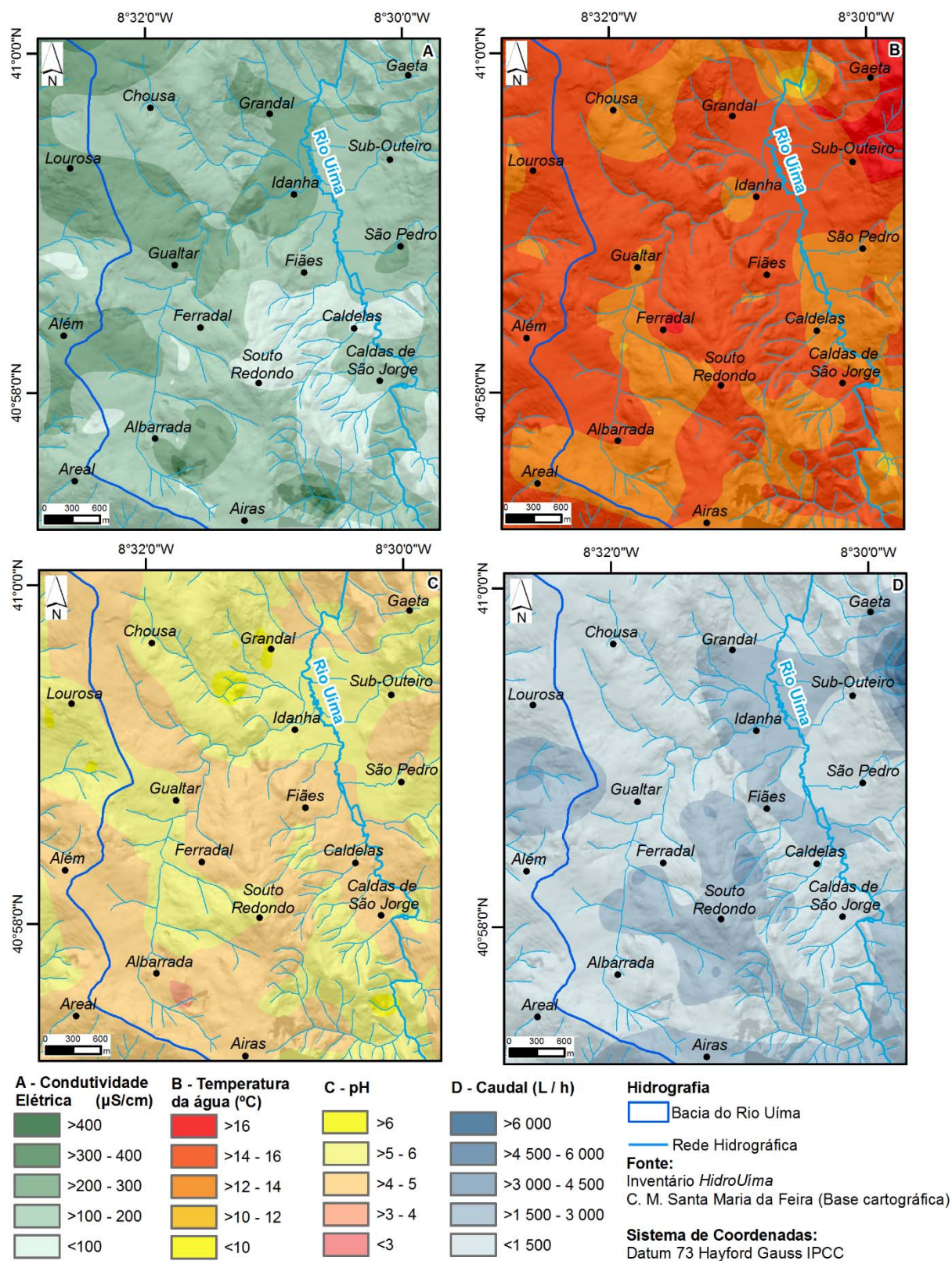
Outro fator associado à variação da temperatura da água incide na temperatura do ar. Em dias em que a temperatura do ar é mais elevada, a temperatura da água tem tendência a acompanhar essa elevação. Quando a temperatura do ar é baixa a temperatura da água tem tendência para baixar, porém esta não atinge valores inferiores à temperatura do ar.

A figura 46-C apresenta a interpolação dos dados referentes ao pH na área de estudo. Através da análise da figura acima referida, verifica-se que quase toda a área de estudo apresenta pH tendencialmente ácido. No entanto, destaca-se as áreas junto às povoações de Grandal e a S das Caldas de São Jorge pelo facto de apresentarem valores superiores a 6, o que demonstra que nessas áreas poderá existir nascentes com pH neutros. As áreas com pH mais ácido localizam-se junto à povoação de Albarrada, apresentando valores inferiores a 3. Este valor poderá ser explicado, pela existência de uma pedreira perto da nascente, o que leva a que o pH desta água possa estar a ser influenciado pelo lago artificial decorrente do abandono da mesma. No entanto, os valores de pH baixos característicos da área de estudo poderão estar associados ao substrato rochoso, visto que este é composto por rochas graníticas e metassedimentares. Esta ideia é semelhante ao que ocorre no Porto, registada por Afonso et al. (2007). Ainda referente ao pH e à sua relação com o substrato rochoso, Rogers (2003) afirma que a medição do pH é fundamental em todas as investigações hidrológicas, pelo facto da compreensão do seu comportamento ser determinante para os processos de contaminação e de interação entre a água e a rocha, revelando-se assim um parâmetro importante em modelação hidrogeoquímica.

Referente à figura 46-D, que exhibe a espacialização dos dados do caudal das nascentes, observa-se que quase toda a extensão da área de estudo apresenta valores inferiores a 1500 L/hora e apenas um pequeno local, próximo da povoação de Sub-Outeiro é que ostenta valores superiores a 6000 L/hora. Referente ao baixo valor de caudal registado na área de estudo, este pode ser explicado pela baixa permeabilidade do substrato rochoso. No entanto, devido ao facto das nascentes da área de estudo apontarem para um circuito curto e rápido, leva a que o caudal das nascentes seja irregular, estando sujeito às alterações do estado do tempo.

Por fim, convém referir que as diversas figuras acima referidas correspondem a dados ajustados de forma a criar padrões espaciais, de fácil leitura. Outro facto a ser anotado corresponde ao trabalho de

campo ter sido realizado entre a transição dos meses de inverno com os de primavera o que influenciou a temperatura da água, a condutividade elétrica, o pH e o caudal.



**Figura 46 - A) Espacialização da condutividade elétrica; B) Espacialização da temperatura da água; C) Espacialização do pH; D) Espacialização do caudal.**

### 3.2.2 – ESPACIALIZAÇÃO DA VARIAÇÃO DA TEMPERATURA DA ÁGUA COM A TEMPERATURA DO AR

A figura 47 apresenta a interpolação entre a temperatura da água (°C) com a temperatura do ar (°C)<sup>10</sup>. Para tal, foi necessário efetuar uma subtração dos dados da temperatura da água com dados da temperatura do ar, para cada nascente.

Através da figura 47 verifica-se que 102 (54,2%) nascentes apresentaram uma temperatura da água superior à temperatura do ar, ou seja entre >0°C até >8°C, enquanto 86 (45,8%) nascentes ostentaram uma temperatura da água inferior à temperatura do ar, ou seja <0°C até <-8°C.

Espacialmente constata-se um predomínio da variação da temperatura entre 4°C a -4°C, na área de estudo. No entanto, verifica-se também algumas áreas que apresentam uma variação de temperatura >8°C, principalmente junto das povoações de Lourosa, Fiães e Ferradal. Relativamente às áreas que registam uma variação de temperatura <-8°C, estas encontram-se na povoação do Ferradal. Outro aspeto a salientar corresponde à variação da temperatura, junto às Termas das Caldas de São Jorge, apresentando valores que variam entre > 4°C a 8°C, o que poderá estar relacionado com a proximidade das Termas das Caldas de São Jorge.

Ao longo do trabalho de campo não se constatou qualquer nascente com propriedades hidrotermais, independentemente da temperatura da água ser superior à temperatura do ar. Outro facto que leva a existir esta disparidade entre a temperatura da água e a temperatura do ar corresponde às alterações repentinas do estado do tempo. Contudo, convém referir que estas alterações devem-se ao facto da variação térmica das águas subterrâneas ser mais lenta do que as variações da temperatura do ar, originado assim alguns *outliers*.

---

<sup>10</sup> Os dados referentes a temperatura do ar (°C) foram obtidos através da Estação Meteorológica de Arouca no *site* do IPMA. Desta forma, os valores da temperatura do ar poderão ser diferentes dos reais, ocorridos nas horas de cada dia de trabalho de campo.



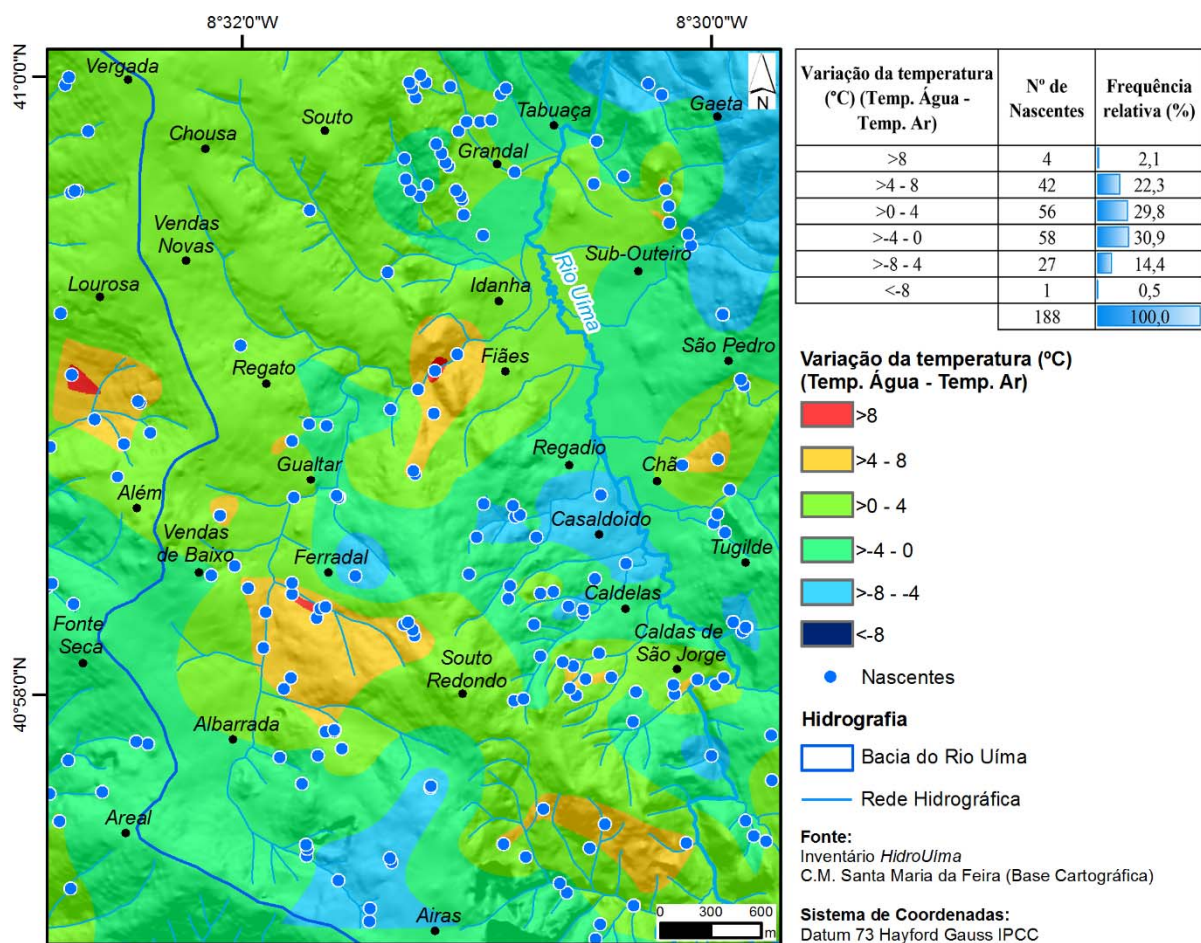


Figura 47 - Espacialização da variação da temperatura (°C).

### 3.3 – CRUZAMENTO DOS DADOS DO INVENTÁRIO *HIDROUÍMA* COM OUTROS PARÂMETROS

Com a apresentação, análise e discussão dos resultados do inventário *HidroUíma* anteriormente quantificados resultou uma caracterização mais pormenorizada das nascentes localizadas na área de estudo. Porém, a perceção da distribuição espacial dos resultados depende, não só da espacialização anteriormente efetuada, mas também do cruzamento com outros elementos que caracterizam a área de estudo, nomeadamente, a hidrogeologia, a ocupação do solo e os declives.

### 3.3.1 – HIDROGEOLOGIA / LOCALIZAÇÃO DAS NASCENTES

A figura 48 corresponde à adaptação do esboço hidrogeológico do Norte e Centro do Maciço Antigo Português delineado por Carvalho (2006) para a área de estudo.

As condições geológicas, morfo-estruturais, tectónicas e climatológicas da área em estudo condicionam de ponto de vista hidrogeológico a existência dos recursos hídricos subterrâneos. Esta ideia é semelhante ao que ocorre na área metropolitana do Porto, em particular na região compreendida entre Vila do Conde, Porto e São João da Madeira defendida por Carvalho (1996), Pedrosa (1999), Carvalho et al. (2000) e Afonso et al. (2004, 2007, 2010).

Conforme a figura 48, verifica-se que a maioria das nascentes emergem em gnaisses, migmatitos e granitos gnaissicos, mais concretamente na Unidade de Lourosa, apresentando 125 (59,5%) nascentes. Nos granitos de grão médio a fino, essencialmente biotíticos emergem 31 (14,8%) nascentes, nos xistos, grauvaques e complexo migmatítico-gnaissico emergem 25 (11,9%), enquanto nos granitos de grão médio a grosseiro de duas micas, com esparsos de megacristais emergem 20 (9,5%).

Relativamente às unidades hidrogeológicas com menor número de nascentes destacam-se os aluviões, com 6 (2,9%) nascentes, os filões e massas com 2 (1%) e os micaxistos e quartzitos da Unidade de São João de Ver com 1 (0,5%).

Espacialmente constata-se que as nascentes se distribuem heterogeneamente pelas unidades hidrogeológicas, todavia observa-se duas concentrações. A primeira concentração localiza-se na povoação do Grandal, onde se verifica um alinhamento das nascentes, que poderá estar relacionado com uma área de contacto entre os gnaisses, migmatitos e granitos gnaissicos e os granitos de grão médio a fino, essencialmente biotíticos, bem como uma área com bastante fraturação. A segunda concentração incide perto das povoações de Casaldoído, Caldelas e Souto Redondo, essencialmente nos xistos, grauvaques e complexo migmatítico-gnaissico. Esta concentração pode estar associada também à densa fraturação registada, nesta unidade hidrogeológica, bem como ao contacto com os granitos de grão médio a grosseiro de duas micas, com esparsos de megacristais.



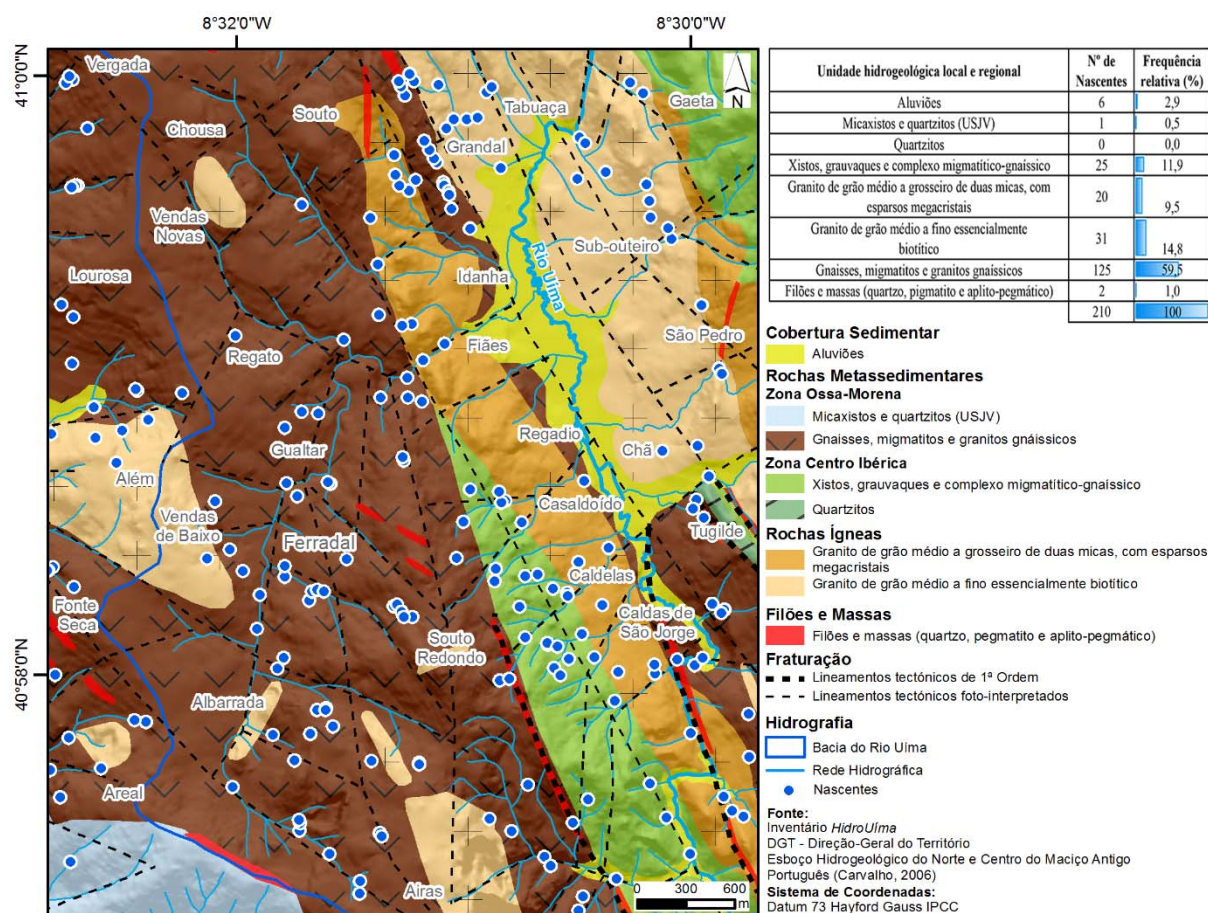


Figura 48 - Unidades hidrogeológicas e localização das nascentes (adaptado de Carvalho, 2006).

### 3.3.2 – OCUPAÇÃO DO SOLO / LOCALIZAÇÃO DAS NASCENTES

A cartografia oficial relativa à ocupação do solo (Carta de Ocupação do Solo, CNIG; Corine Land Cover, EEA) apresenta, geralmente, um atraso temporal, bem como uma escala desadequada aos estudos de pormenor. Dado esse facto e conforme evidenciado nas metodologias, optou-se por vetorizar a ocupação do solo, com dados atuais e a uma escala mais adequada.

A figura 49 apresenta a localização das nascentes por classes de ocupação do solo, em 2005. Através desta figura, verifica-se que os territórios artificializados correspondem a 41,6% do total da área de estudo, seguidamente as florestas e meios naturais e semi-naturais com 41,2%. Com menor percentagem de área ocupada surgem as áreas agrícolas e agro-florestais com 17,1% e os corpos de água com 0,1%.

Relativamente ao cruzamento entre a localização das nascentes com as classes de ocupação do solo constata-se a existência de um predomínio de nascentes nas florestas e meios naturais e semi-naturais e nos territórios artificializados, sendo que a primeira apresenta 87 (41,4%) nascentes e a segunda 82 (39%). A classe de ocupação do solo com um menor número de nascentes corresponde às

áreas agrícolas e agro-florestais apresentando 41 (17,1%). No que toca à classe referente aos corpos de água observa-se que esta não apresenta qualquer registo de nascentes.

Em termos territoriais e com o trabalho de campo constatou-se que muitas nascentes localizadas em áreas florestais são guiadas por regos, levadas e tubos para áreas agrícolas, circunscritos em fundos de vale, certas áreas deprimidas, rechãs e algumas encostas, enquanto outras são guiadas, essencialmente por tubos para lavadouros e fontanários públicos, que se localizam, essencialmente nos territórios artificializados.

Outro facto observável na área de estudo, diz respeito ao crescimento acelerado dos territórios artificializados e à desflorestação. Esses factos poderão levar a curto e médio prazo a problemas de contaminação nas águas subterrâneas e superficiais, bem como ao desaparecimento de diversas nascentes.

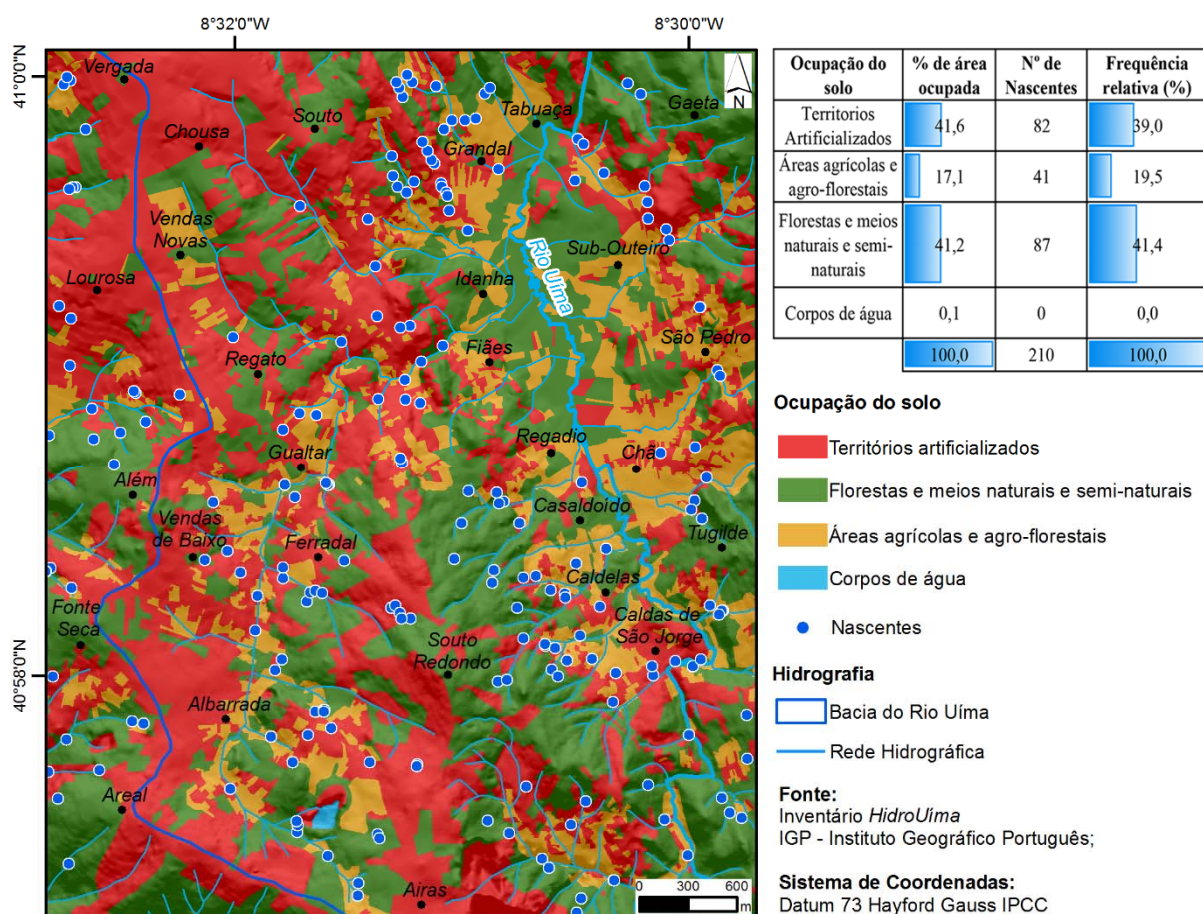


Figura 49 - Uso do solo e localização das nascentes (COS nível 1).

### 3.3.3 – DECLIVES / LOCALIZAÇÃO DAS NASCENTES

Segundo Jha et al. (2007) e Yeh et al. (2009) o declive corresponde a um dos fatores mais importantes que condicionam a infiltração de água. Assim sendo, as áreas onde o declive é mais suave poderão corresponder a locais com maior capacidade de infiltração.

De modo a definir e agrupar as diversas classes do mapa de declives (°) das vertentes da área de estudo (figura 50) utilizou-se o método de Young (1972). Desta forma, a informação foi classificada em sete classes com os seguintes intervalos: <2°; >2°-5°; >5°-10°; >10°-18°; >18°-30°; >30°-40° e >40°.

Através da análise da figura 50 constata-se que 96,8% da área total da área de estudo incide nas classes de <2° até >10°-18°, o que leva a referir que, na área de estudo, os declives são suaves e moderados. Os declives <2° correspondem a áreas aplanadas, como o fundo do vale do Rio Uíma, os topos do relevo marginal e outros vales. Na área de estudo, também encontram-se declives abruptos, ou seja >40°, junto às atuais pedreiras dos Irmãos Cavaco S.A, sitas no lugar da Malaposta (Caldas de São Jorge), na antiga pedreira de Albarrada, no Monte da Pedreira, em Fiães e junto à Tabuaça, local onde o Rio Uíma cai abruptamente.

Relativamente ao cruzamento entre a localização das nascentes com os declives (°) verifica-se que 76 (36,2%) nascentes encontram-se na classe >5°-10°, 60 (28,6%) situam-se na classe >2°-5° e 58 (27,6%) localizam-se na classe >10°-18°. Com menor número de nascentes, destaca-se a classe >18°-30°, com 12 (5,7%), a classe <2 com 4 (1,9%). Referente às classes >30°-40° e >40° observa-se que estas não apresentam quaisquer registo de nascentes.

Através deste dados pode-se concluir que a fraca emergência de água subterrânea em declives <2° e a nula emergência de água subterrânea nas classes >30°-40° e >40°, se deve aos seguintes fatores:

- Declives <2 – Fundo do vale do Rio Uíma: Substrato geológico (Aluviões), nível hidrostático próximo da superfície.
- Declives <2 – Relevos marginais: Substrato geológico, nível hidrostático bastante profundo, levando a que a emergência da água subterrânea ocorra em áreas com declives maiores.
- Declives >30°- 40° e >40° - Escarpas: Infiltração escassa ou nula.



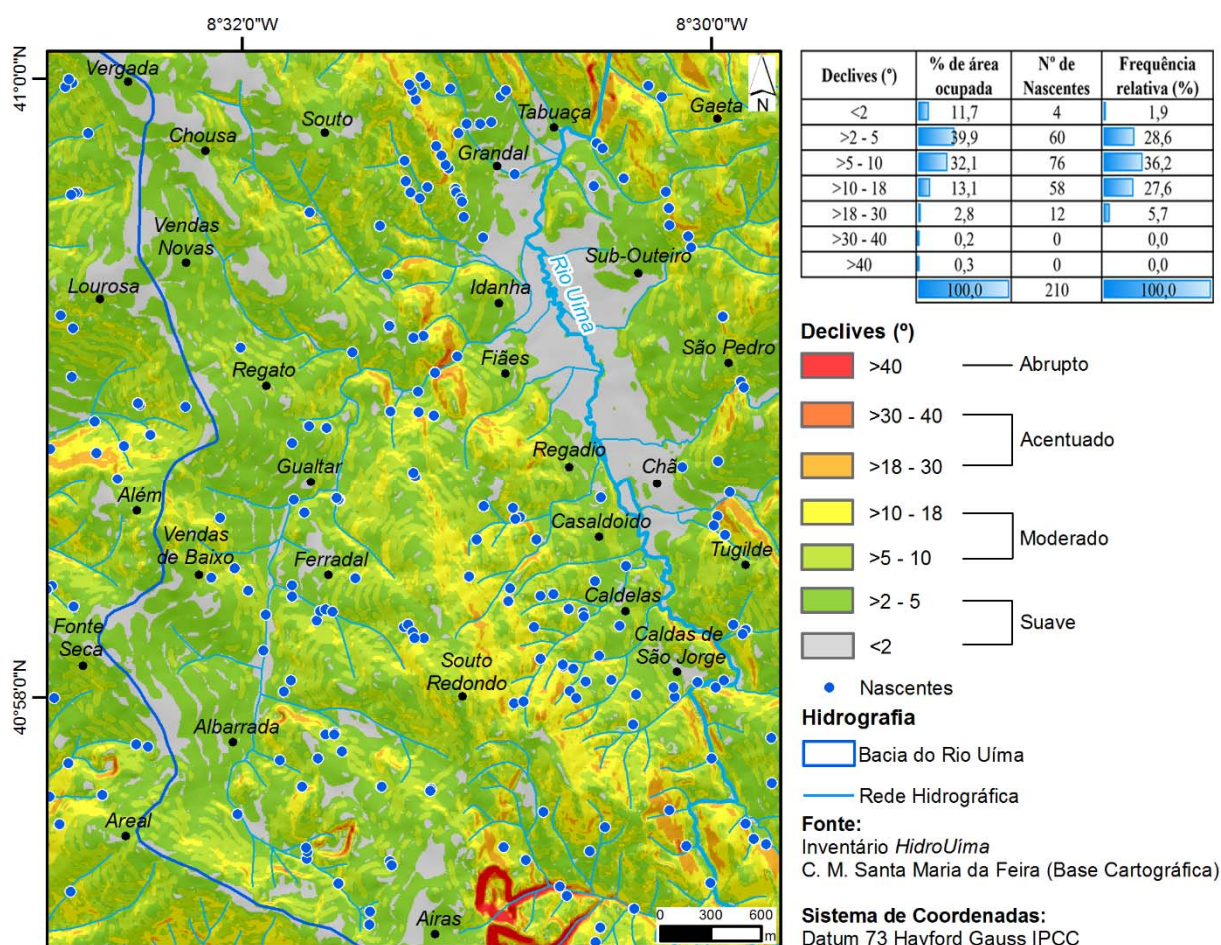


Figura 50 - Declives e localização das nascentes.

### 3.4 – POTENCIAIS FOCOS DE CONTAMINAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS

#### 3.4.1 – DISTRIBUIÇÃO DOS POTENCIAIS FOCOS DE CONTAMINAÇÃO NA ÁREA DE ESTUDO

Neste subcapítulo, realizou-se, uma breve análise estatística e espacial dos dados obtidos da BD *PFCUíma*, bem como o cruzamento dos dados, desta BD, com o mapa hidrogeológico e a ocupação do solo.

A figura 51 apresenta a distribuição dos potenciais focos de contaminação dos recursos hídricos subterrâneos, em 2015, proveniente dos dados obtidos da BD *PFCUíma*. Numa primeira análise averigua-se que os 426 potenciais focos de contaminação se distribuem de forma heterogênea pela área de estudo. No entanto, junto à povoação de Lourosa, Chousa, Fiães e Albarrada, os potenciais focos de contaminação, encontram-se mais concentrados, devido a uma forte industrialização destas áreas.

Relativamente à distribuição dos potenciais focos de contaminação pelas bacias hidrográficas destaca-se a bacia hidrográfica do Rio Uíma, com 328 (77%) potenciais focos de contaminação e as outras bacias com 98 (23%) potenciais focos de contaminação.

Em termos da aparência dos potenciais focos de contaminação, 241 (56,6%) encontravam-se em condições razoáveis, 96 (22,5%) em condições boas, 80 (18,8%) em condições más e 9 (2,1%) em condições excelentes.

Alusivo aos tipos de contaminante verifica-se que em 189 (44,4%) potenciais focos de contaminação existe o predomínio dos produtos químicos, e em 52 (12,2%) ocorre o saneamento, águas residuais, detritos humanos, como principal contaminante.

No que concerne ao tipo de descarga dos potenciais focos de contaminação averiguou-se que 324 (76,1%) correspondem a resíduos sólidos e descargas líquidos, 52 (12,2%) condizem com apenas descargas líquidas, 23 (5,4%) coincidem com os resíduos sólidos e descargas líquidas e gasosas. Os restantes 27 (6,3%) apresentam descargas de resíduos sólidos e descargas gasosas e líquidas.

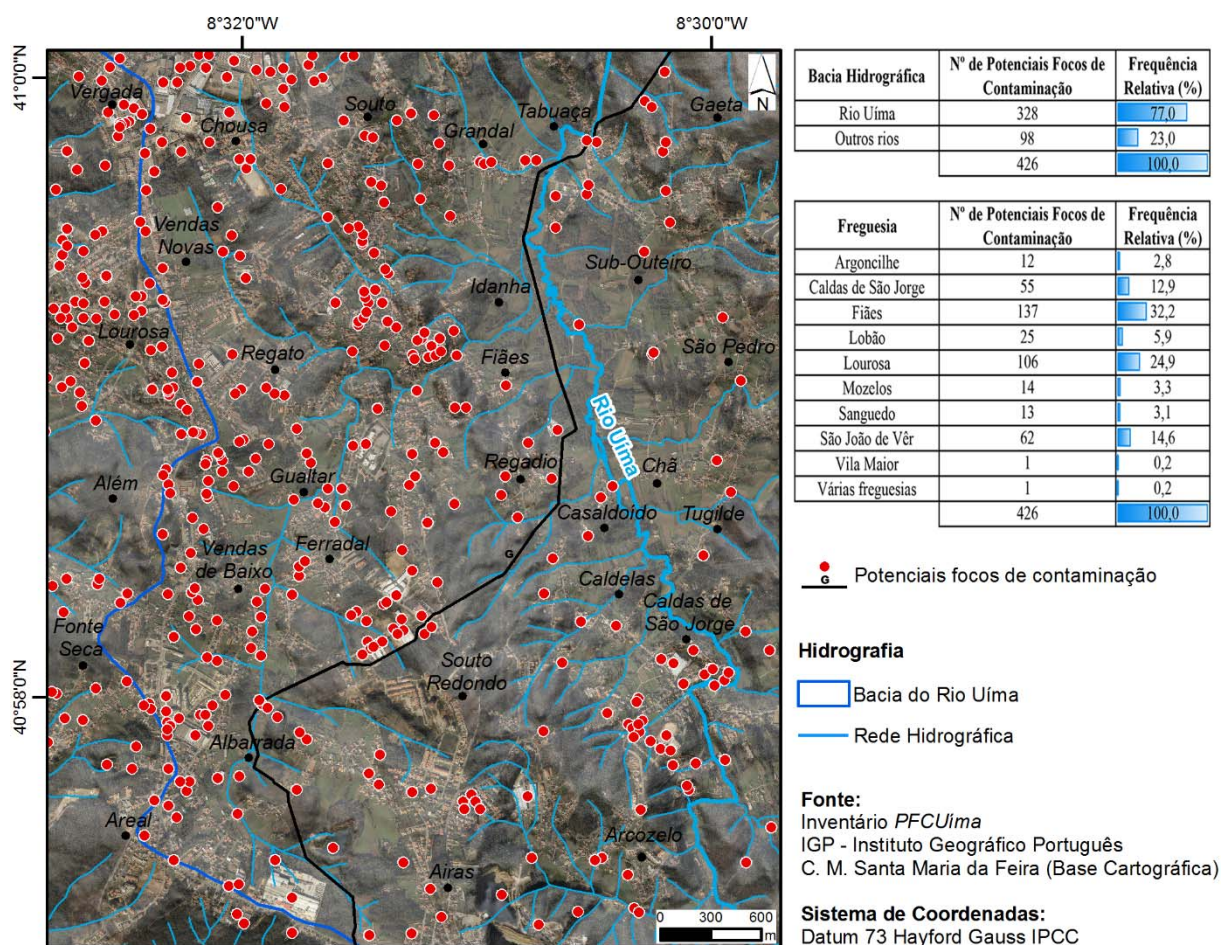


Figura 51 - Distribuição dos potenciais focos de contaminação na área de estudo.

### **3.4.2 – TIPO DE POTENCIAIS FOCOS DE CONTAMINAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS**

A elaboração da figura 52, que evidência o tipo de potencial foco de contaminação, foi baseada nos trabalhos de Zaporozec (2004), onde este sugere 44 tipos de potenciais focos de contaminação das águas subterrâneas (figura 31). No entanto, conforme a tabela da figura 52, em campo apenas se constatou a existência de 19 tipos de potenciais focos de contaminação das águas subterrâneas.

Outro facto observado em campo foi a existência do predomínio da tipologia pontual, com 405 (95,1%) potenciais focos de contaminação. Referente à tipologia difusa esta concentra 20 (4,7%) potenciais focos de contaminação e a tipologia linear apresenta, apenas, 1 (0,2%). As tipologias pontuais estão associadas aos tipos de foco de contaminação 4, 8, 9, 10, 12, 21, 28, 33, 34, 35, 38, 39, 41 e 44 enquanto as tipologias difusas encontram-se associadas aos tipos de foco de contaminação 13, 14, 15 e 31 e as tipologias lineares apresentam-se relacionadas ao tipo de foco de contaminação 27 (figura 52).

Através da análise da figura 52 constata-se que 161 (37,8%) potenciais focos de contaminação correspondem ao tipo de foco de contaminação designado “indústria”, 57 (13,4%) condizem com o tipo de foco de contaminação designado de “outros”, destacando-se as pedreiras, os cabeleireiros e entre outros e 44 (10,3%) incidem no tipo de foco de contaminação designado “oficina automóvel”. Os restantes tipos de foco de contaminação correspondem 164 (38,5%) potenciais focos de contaminação.





Tipo de foco de contaminação	Designação do foco de contaminação	Nº de potenciais focos de contaminação	Frequência relativa (%)
4	Depósito subterrâneo	10	2,3
8	Estação de serviço	6	1,4
9	Outros (Pedreira, Cabeleireiro..)	57	13,4
10	Oficina automóvel	44	10,3
12	Produção e armazenamento de produtos químicos	6	1,4
13	Lixeira	13	3,1
14	Jardim com lago e vegetação de grande porte	3	0,7
15	Jardim sem lago e vegetação de pequeno e grande porte	9	2,1
21	Indústria	161	37,8
27	Conduto de gás ou hidrocarbonetos	1	0,2
28	Estação de tratamento de águas residuais (ETAR)	1	0,2
31	Picadeiro	5	1,2
33	Clínica médica / Unidade de saúde	12	2,8
34	Estabelecimento de ensino	28	6,6
35	Edifício de ação social	16	3,8
38	Lavadouro	31	7,3
39	Lago artificial	1	0,2
41	Balneário e instalação sanitária	15	3,5
44	Cemitério	7	1,6
		426	100,0

Figura 52 - Tipo de potenciais focos de contaminação, segundo Zaporozec (2004).



### 3.4.3 – ESPACIALIZAÇÃO DO POTENCIAL DE CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

De modo a elaborar a espacialização do potencial de contaminação das águas subterrâneas, na área de estudo foi necessário realizar alguns ajustes na BD *PFCUíma*, criando-se dois novos campos. O primeiro campo corresponde a uma generalização do potencial foco de contaminação tendo-se agrupado os diversos potenciais focos de contaminação em indústrias, fontes diversas, águas residuais, agricultura e lixeiras e o segundo campo condiz com o potencial de contaminação das águas subterrâneas, a que cada potencial foco de contaminação está associado, variando este entre alto, médio e baixo (quadro 7).

**Quadro 7 - Potencial de contaminação das águas subterrâneas associado ao potencial foco de contaminação (adaptado de Zaporozec, 2004).**

Potencial foco de contaminação	Potencial de contaminação das águas subterrâneas
Indústrias	Alto Médio Baixo
Fontes diversas	Alto Médio Baixo
Águas residuais	Alto Médio
Agricultura	Médio
Lixeiras	Alto

Após a concretização deste processo realizou-se a espacialização do potencial de contaminação das águas subterrâneas, através de uma interpolação com o método *Natural Neighbor*. Para além da interpolação inseriu-se a área de concessão da água mineral natural das Termas das Caldas de São Jorge e área sugerida pela Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG) de um recurso hidromineral potencial junto da povoação do Souto Redondo (São João de Vêr). O intuito desta inserção incide, essencialmente, na verificação do potencial de contaminação das águas subterrâneas associado a cada uma dessas áreas.

Através da figura 53 constata-se que a área de estudo apresenta um potencial de contaminação das águas subterrâneas médio a alto. Os potenciais de contaminação das águas subterrâneas alto a médio estão associados, conforme o quadro 7 a todos potenciais focos de contaminação e correspondem, segundo a figura 53, a 401 (94,4%). Em termos de espacialização verifica-se que o potencial de contaminação das águas subterrâneas alto encontra-se junto às povoações de Lourosa, Gualtar, Fonte Seca, Além, Albarrada, Areal, Ferradal, Vendas Novas, Vendas de Baixo, Vergada, Souto, Grandal, Tabuaça, Sub-Outeiro, Chã, Tugilde, São Pedro, Gaeta, Casaldoído e Caldelas, enquanto o potencial de contaminação das águas subterrâneas médio localiza-se perto das povoações de Chousa, Regadio, Fiães, Idanha, Airas, Caldas de S. Jorge e Regato. Relativamente ao potencial de contaminação das águas subterrâneas baixo, averiguaram-se 7 áreas que se situam a W da povoação de Lourosa, a SW da

povoação do Regato, a SE das povoações da Vergada, Chousa e Caldas de São Jorge e a NW da povoação de Fiães.

Relativamente à questão da área de concessão da água mineral natural das Termas das Caldas de São Jorge e área sugerida pela Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG) de um recurso hidromineral potencial junto da povoação do Souto Redondo (São João de Vêr) constata-se, na primeira área a interseção dos três potenciais de contaminação das águas subterrâneas e na segunda área o potencial de contaminação das águas subterrâneas alto a médio. Ainda referente à primeira área visualiza-se que a maioria da sua área encontra-se com um potencial de contaminação das águas subterrâneas médio e na segunda área observa-se que a maioria da sua área encontra-se com um potencial de contaminação das águas subterrâneas alto.

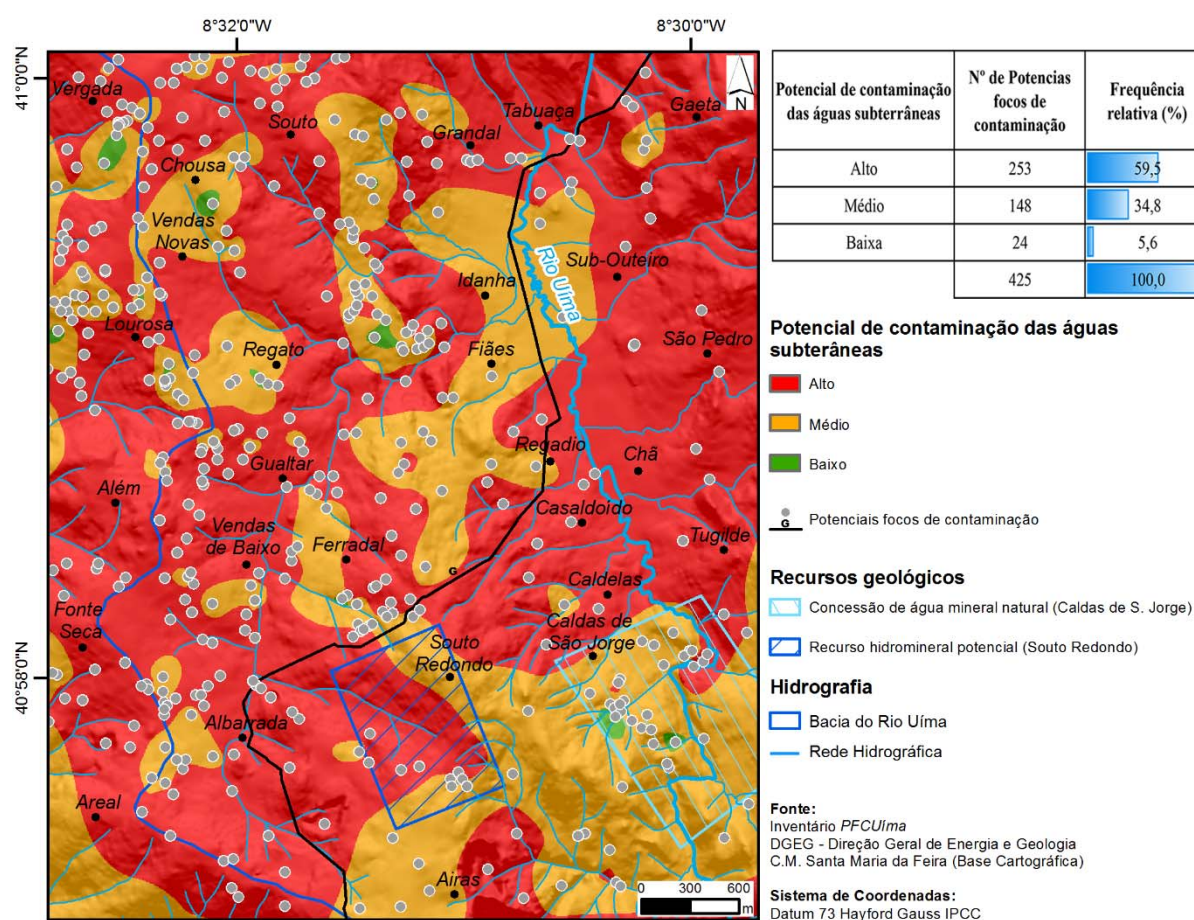


Figura 53 - Espacialização do potencial de contaminação das águas subterrâneas.

## 3.5 – CRUZAMENTO DOS DADOS DO INVENTÁRIO *PFCUÍMA* COM OUTROS PARÂMETROS

### 3.5.1 – HIDROGEOLOGIA / POTENCIAIS FOCOS DE CONTAMINAÇÃO

Conforme a figura 54, verifica-se que a maioria dos potenciais focos de contaminação encontram-se em gnaisses, migmatitos e granitos gnáissicos, mais concretamente na Unidade de Lourosa, apresentando 302 (70,9%). Nos granitos de grão médio a fino, essencialmente biotíticos localizam-se 46 (10,8%) potenciais focos de contaminação, nos granitos de grão médio a grosseiro de duas micas, com esparsos de megacristais destacam-se 43 (10,1%), enquanto nos xistos, grauvaques e complexo migmatítico-gnáissico encontram-se 16 (3,8%).

Relativamente às unidades hidrogeológicas com menor número de potenciais focos de contaminação destacam-se os aluviões, com 10 (2,3%), os micaxistos e quartzitos da Unidade de São João de Vêr com 6 (1,4%) e os filões e massas com 2 (0,5%). Contudo, verifica-se, ainda a existência de um potencial foco de contaminação, mais concretamente, o gasoduto que abrange várias unidades hidrogeológicas.

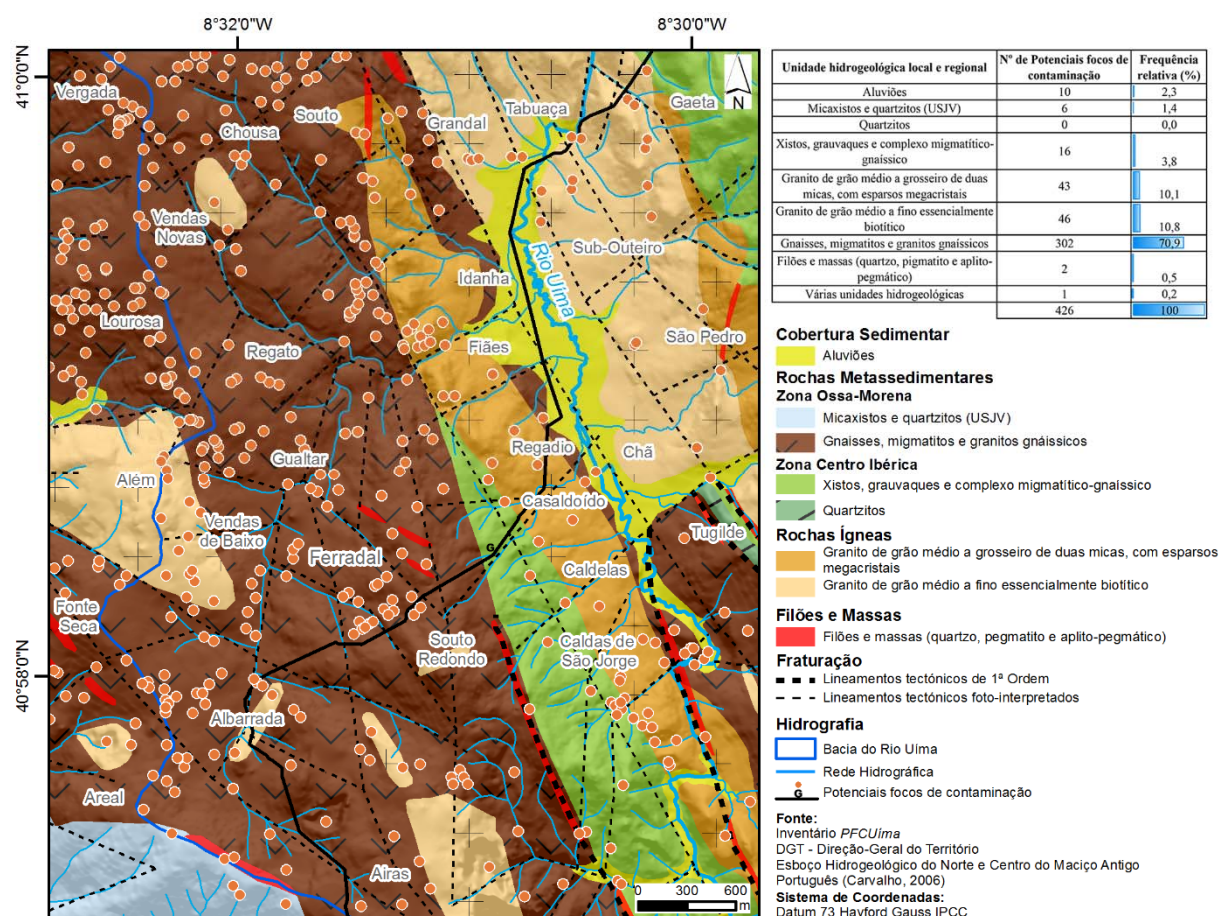


Figura 54 - Unidades hidrogeológicas e localização das potenciais focos de contaminação.

### **3.5.2 – OCUPAÇÃO DO SOLO / POTENCIAIS FOCOS DE CONTAMINAÇÃO**

A figura 55 apresenta a localização dos potenciais focos de contaminação por classes de ocupação do solo. Através da figura 55, verifica-se que é nos territórios artificializados que se distribuem o maior número de potenciais focos de contaminação, destacando-se 384 (90,1%). Outras observações da figura 55 incidem na ocorrência de 26 (6,1%) potenciais focos de contaminação nas florestas e meios naturais e semi-naturais, 14 (3,3%) nas áreas agrícolas e agro-florestais, 1 (0,2%) nos corpos de água e em diversas ocupações do solo.

Em termos territoriais e com o trabalho de campo constatou-se que os potenciais focos de contaminação localizados, nos territórios artificializados correspondem ao tipo de foco de contaminação 4, 8, 9, 10, 12, 13, 14, 15, 21, 28, 33, 34, 35, 38, 41 e 44, nas florestas e meios naturais e semi-naturais coincidem com o tipo de foco de contaminação 13, 39 e 44, nas áreas agrícolas e agro-florestais condizem com o tipo de foco de contaminação 31 e 44 e por fim os corpos de águas ocorrem no tipo de foco de contaminação 44 (ver tabela da figura 52). No entanto, este último corresponde a uma antiga pedreira abandonada.

Outro facto observável, na área de estudo, corresponde ao crescimento das unidades fabris ligadas à cortiça e ao calçado, ao longo dos últimos 30 anos, próximas de linhas de água. Este facto levou a vários problemas nos aquíferos, bem como nas águas superficiais, tendo colocado muitas nascentes e furos vulneráveis a problemas contaminação.



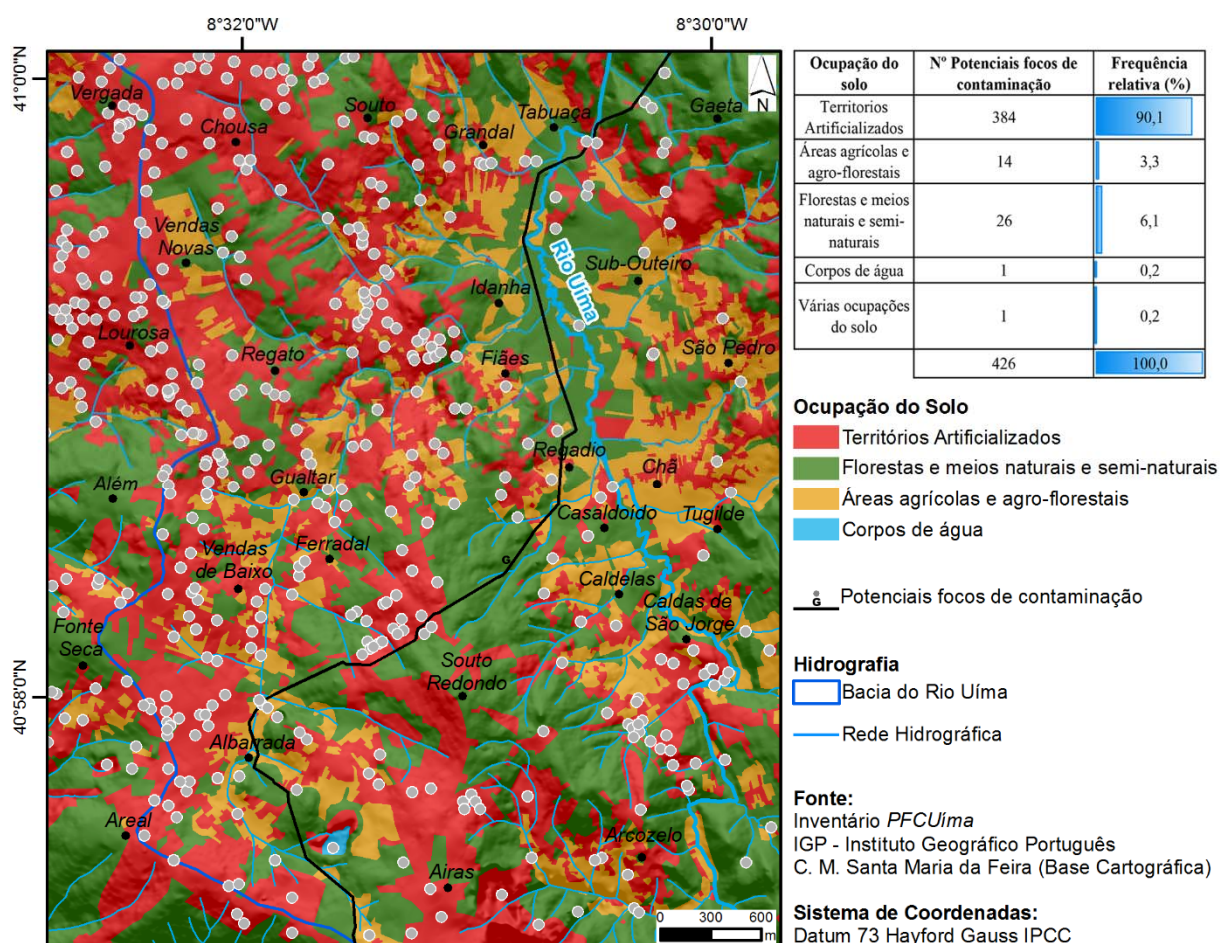


Figura 55 - Ocupação do solo e localização das potenciais focos de contaminação.

### 3.6 – VULNERABILIDADE DOS AQUÍFEROS: UM CONTRIBUO PARA O ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO A NÍVEL MUNICIPAL

A vulnerabilidade de um aquífero pode ser de origem intrínseca e/ou específica estando relacionada com a sensibilidade que este tem para alterar a qualidade das águas subterrâneas (Vrba & Zaporozec, 1994).

Desta forma, para determinar a vulnerabilidade dos aquíferos foram desenvolvidas várias metodologias de estudo, ao longo das últimas décadas, nomeadamente, a construção de índices e métodos estatísticos aplicados em grandes áreas de estudo (escalas até 1:50000), bem como métodos baseados em simulações de modelos, aplicados a áreas de estudo mais pequenas (Wang, 2007). Apesar das várias metodologias existentes, Paralta et al. (2005), considera que não existe forma satisfatória de representar a vulnerabilidade dos aquíferos, pois não é possível inserir num único mapa todos os parâmetros que influenciam o comportamento dos contaminantes. No entanto, com a construção de índices de síntese, é possível considerar conjuntamente a influência de vários fatores que atuam na avaliação da vulnerabilidade de um aquífero.

### 3.7 – MÉTODO IS

O Índice de Suscetibilidade (IS<sup>11</sup>) surgiu por Ribeiro (2000), mas só foi inicialmente testado por Francés et al. (2001) no Projeto ERHSA – Estudo dos recursos hídricos subterrâneos do Alentejo. Este índice inspira-se no método DRASTIC, proposto por Aller et al. (1987), tendo sido desenvolvidos com a intenção de avaliar, de forma rápida, a vulnerabilidade de uma área à contaminação de aquíferos, calculando uma soma ponderada entre os vários parâmetros, baseados no seu enquadramento hidrogeológico.

O IS baseia-se na vulnerabilidade intrínseca, relativa às condições naturais e na vulnerabilidade específica referente aos impactos potenciais da ocupação do solo.

Assim sendo, o IS é calculado a partir da seguinte soma ponderada (Francés et al. 2001; Ribeiro, 2005):

$$IS = 0,186 D + 0,212 R + 0,259 A + 0,121 T + 0,222 LU$$

D – Profundidade do nível freático;

R – Taxa Anual de recarga;

A – Natureza geológica do aquífero;

T – Topografia;

LU – Ocupação do solo.

A profundidade do nível freático (D) corresponde à distância vertical que um determinado contaminante tem que atravessar para chegar ao aquífero. Quanto maior a profundidade, maior será o tempo gasto para o contaminante atingir o aquífero (Francés et al. 2001; Stigter et al. 2002; Ribeiro, 2005).

A taxa anual de recarga (R) mede a quantidade de água que atinge anualmente um aquífero através da precipitação, que escoia verticalmente até atingir o nível freático. Quanto maior for a recarga, maior a lixiviação dos contaminantes para o aquífero (Francés et al. 2001; Stigter et al. 2002).

A natureza geológica do aquífero (A) determina que quanto mais permeável for o material dos aquíferos maiores são as hipóteses de contaminação das águas subterrâneas (Francés et al. 2001; Stigter et al. 2002; Ribeiro, 2005).

---

<sup>11</sup> O IS, apesar de ser designado de Índice de Suscetibilidade, serve para avaliar a vulnerabilidade intrínseca e específica de um aquífero.



A topografia (T) define os declives do terreno em percentagem, que, quanto mais elevados forem, menor a infiltração. De tal forma, declives mais atenuados promovem uma maior infiltração e transporte dos contaminantes para as águas subterrâneas (Francés et al. 2001; Stigter et al. 2002; Ribeiro, 2005).

A ocupação do solo (LU) envolve as diversas atividades exercidas no terreno, que constituem os potenciais focos de contaminação dos aquíferos (Francés et al. 2001; Stigter et al. 2002).

Assim sendo, os primeiros quatro parâmetros correspondem a vulnerabilidade intrínseca e são extraídos diretamente do método DRASTIC, bem como os valores atribuídos a cada parâmetro. Posteriormente, de modo a facilitar a leitura e análise do resultado final, os valores provenientes do DRASTIC, que variam entre 1 a 10, são multiplicados por 10, no IS (Francés et al. 2001) (figura 56).

O quinto parâmetro, que corresponde à ocupação do solo, foi introduzido por Francés et al. (2001), e está relacionado com a vulnerabilidade específica. Relativamente aos valores deste parâmetro, estes variam entre 0 e 100. No entanto, pelo facto da área de estudo não ter qualquer ocupação de solo com valor 100, este variou entre 0 a 75, sendo o valor 75 o indicador das atividades mais poluentes (figura 56).

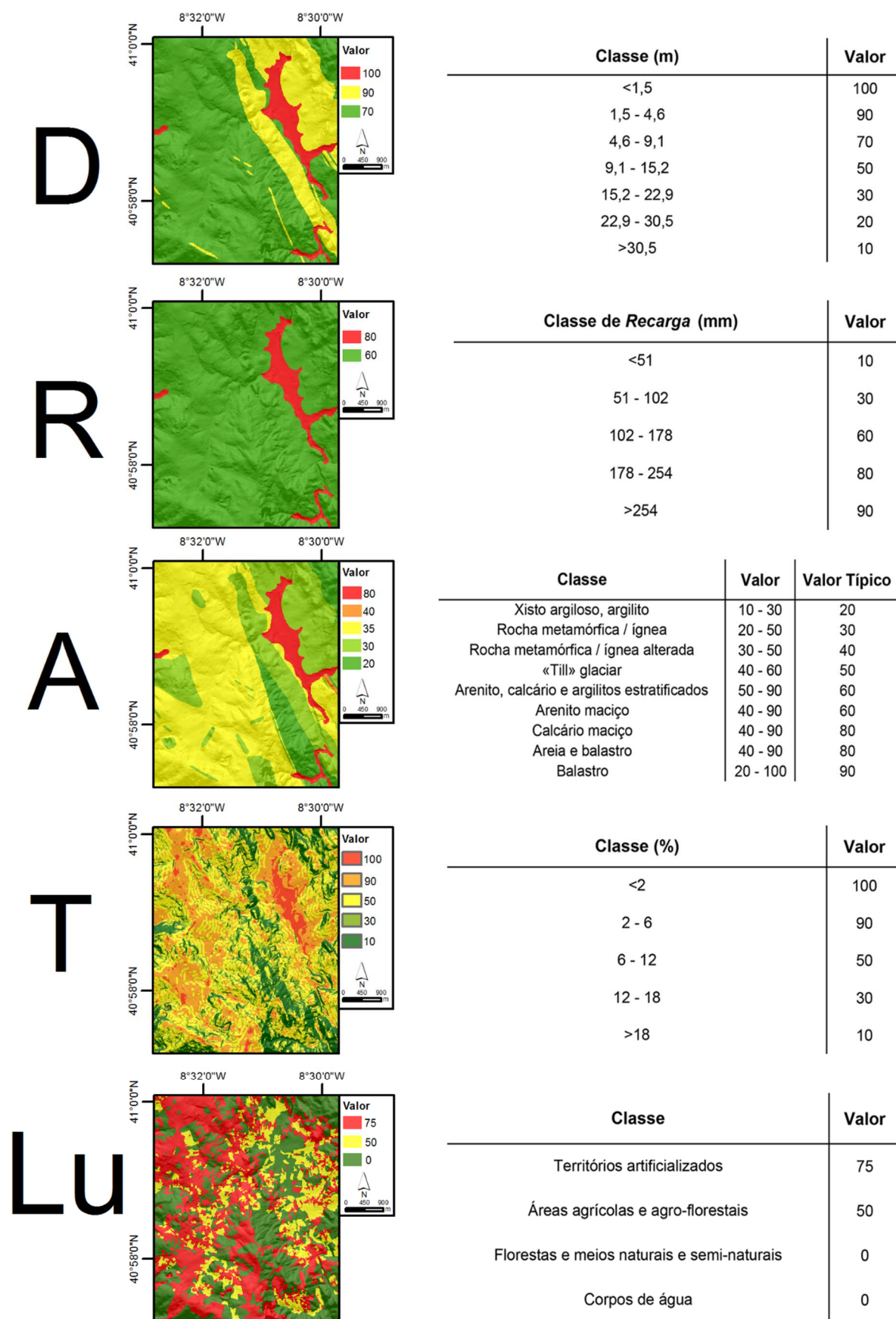


Figura 56 - Componentes do Índice de Suscetibilidade (IS).

Segundo Ribeiro (2005), quanto maiores forem os valores finais de IS obtidos, ou seja provenientes da soma ponderada dos diversos parâmetros, tanto maior é a probabilidade de determinada área ser vulnerável à contaminação das águas subterrâneas. O quadro 8, apresenta de forma simplificada a classificação da vulnerabilidade do IS, sendo esta variável entre <30 e >90.

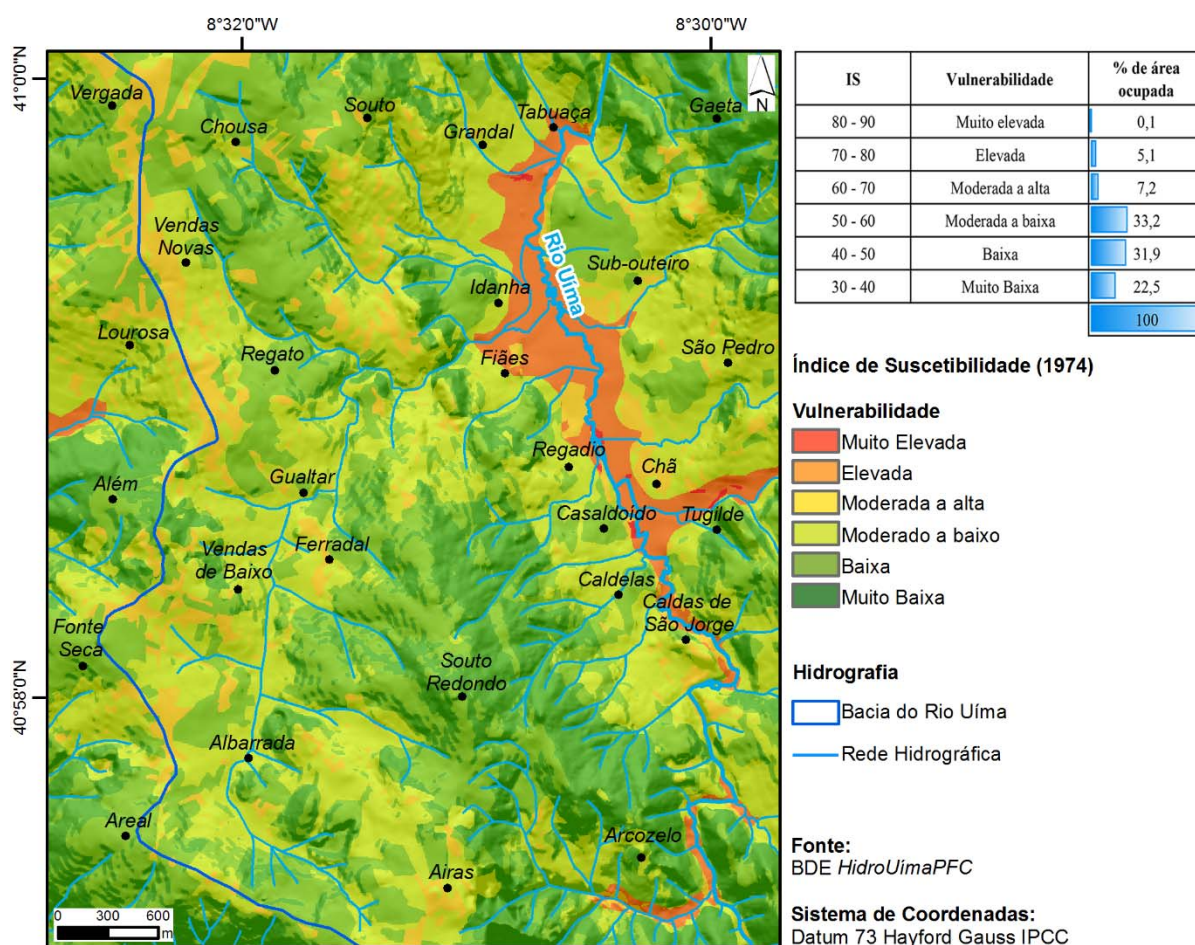
**Quadro 8 - Classificação da vulnerabilidade (adaptado de Ribeiro, 2005).**

<b>IS</b>	<b>Vulnerabilidade</b>
>90	Extremamente vulnerável
80 - 90	Muito elevada
70 - 80	Elevada
60 - 70	Moderada a alta
50 - 60	Moderada a baixa
40 - 50	Baixa
30 - 40	Muito Baixa
<30	Extremamente baixa

### **3.7.1 – VULNERABILIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS EM 1974 E 2005**

Partindo da análise multicritério do IS, numa primeira fase inseriu-se como parâmetro “Lu” a ocupação do solo de 1974.

Assim sendo, a figura 57 evidencia as áreas, em que as águas subterrâneas se encontram vulneráveis a contaminação. Com a sua análise confirma-se que 33,2% da área ocupada corresponde à vulnerabilidade moderada a baixa, 31,9% à vulnerabilidade baixa, 22,5% à vulnerabilidade muito baixa. A vulnerabilidade moderada a alta condiz com 7,2% da área ocupada, enquanto a vulnerabilidade elevada ocupa 5,1% da área. Referente a vulnerabilidade muito elevada esta apresenta 0,1% da área ocupada.



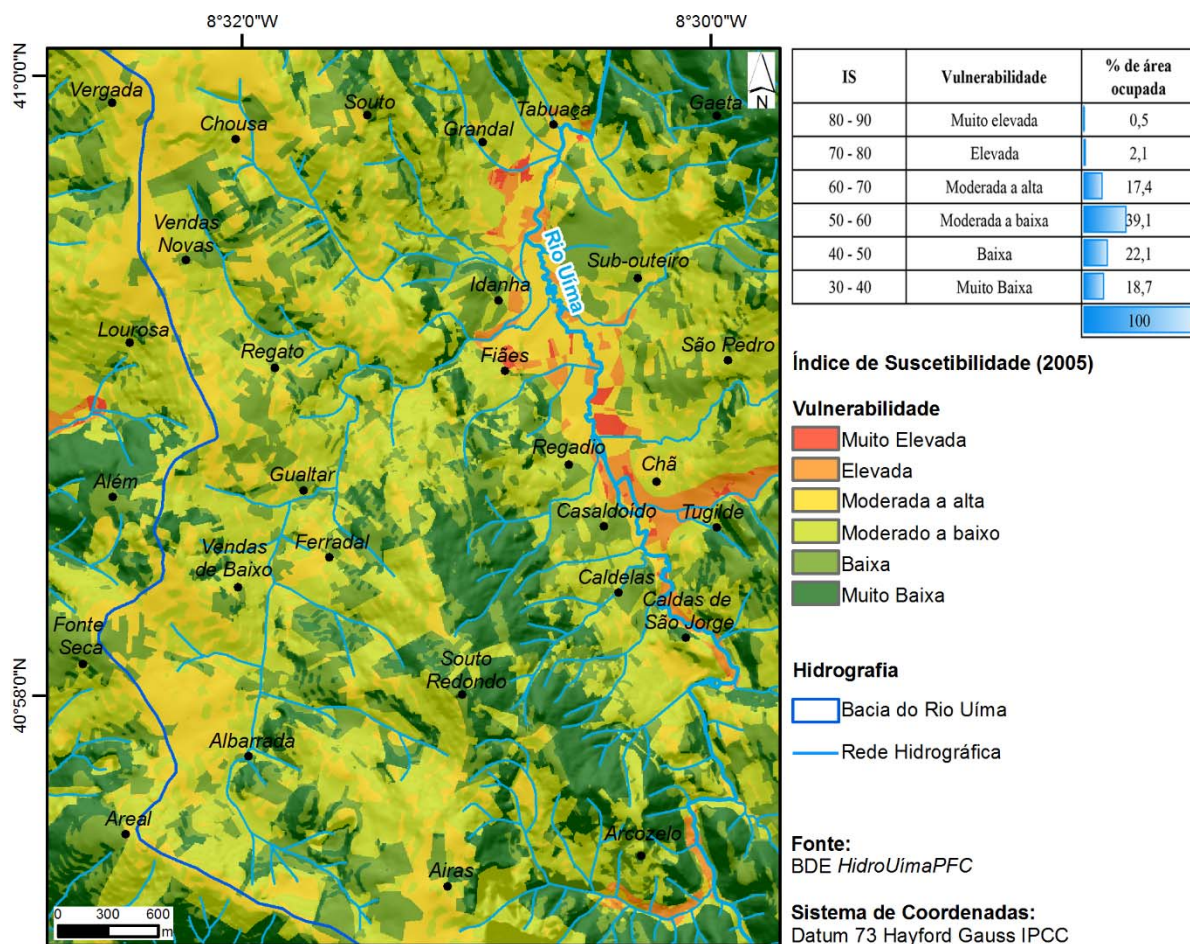
**Figura 57 - Áreas vulneráveis à contaminação das águas subterrâneas, em 1974.**

A figura 58 apresenta as áreas vulneráveis à contaminação das águas subterrâneas. Para a realização desta vulnerabilidade introduziu-se o “Lu” relativo ao ano de 2005. Analisando a figura acima referida constata-se que 39,1% das áreas ocupadas incide na vulnerabilidade moderada a baixa, 22,1% na vulnerabilidade baixa, 18,7% na vulnerabilidade baixa e 17,4% na vulnerabilidade moderada a alta. Referente à vulnerabilidade elevada esta corresponde a 2,1% da área ocupada, enquanto a vulnerabilidade muito elevada ocupa 0,5% da área.

Em termos espaciais, relativamente à figura 57 e 58 constata-se que os valores mais elevados de vulnerabilidade encontram-se junto ao vale do Rio Uíma. Esta concentração deve-se a três fatores. O primeiro corresponde ao substrato geológico dessa área ser altamente poroso, levando a que este seja altamente permeável a potenciais contaminantes, procedentes de atividades naturais ou humanas, o segundo está relacionado com a profundidade do aquífero, uma vez que o nível freático nesta área está próximo da superfície, o que leva a que os contaminantes possam chegar rapidamente e o terceiro e último fator recai na ocupação do solo que é essencialmente de cariz agrícola nesta área. Relativamente aos valores mais baixos de vulnerabilidade verifica-se que estes se localizam em áreas com declives mais acentuados e abruptos. Este facto é explicado, segundo Ribeiro (2005), pelo facto de quanto mais elevados forem os declives menor será a infiltração e maior será a erosão do solo e a escorrência



superficial, levando a que a água proveniente da precipitação tenha tendência a infiltrar em áreas em que os declives são mais moderados ou suaves.



**Figura 58 - Áreas vulneráveis à contaminação das águas subterrâneas, em 2005.**

Observando o quadro 9, que corresponde a variação da área vulnerável à contaminação dos aquíferos entre 1974 a 2005, averigua-se que as áreas com vulnerabilidade muito elevada aumentaram 0,4% entre 1974 e 2005, enquanto as áreas com vulnerabilidade elevada diminuíram, 3% em relação a 1974. Referentes as áreas com vulnerabilidade moderada a alta e moderada a baixa, verificou-se um aumento de 16,2% entre 1974 e 2005, enquanto as áreas de vulnerabilidade baixa a muito baixa diminuíram 13,6% em 2005.

Estes resultados podem ser justificados pela evolução da ocupação da área em estudo, entre 1974 e 2005, onde se constatou um aumento significativo dos territórios artificializados, face às outras ocupações do solo, levando à existência de maior incidência de vulnerabilidade dessas áreas.

**Quadro 9 - Variação da área vulnerável à contaminação dos aquíferos entre 1974 a 2005.**

IS	Vulnerabilidade	Variação (%) 1974 - 2005
80 - 90	Muito elevada	0,4
70 - 80	Elevada	-3,0
60 - 70	Moderada a alta	10,2
50 - 60	Moderada a baixa	6,0
40 - 50	Baixa	-9,8
30 - 40	Muito Baixa	-3,8

### 3.8 – CRUZAMENTO DOS DADOS DA BDE *HIDROUÍMAPFC*

#### 3.8.1 – IS 2005 / LOCALIZAÇÃO DAS NASCENTES

O figura 59 apresenta a distribuição das nascentes por classes de vulnerabilidade referente ao método IS, com o “Lu” referente a 2005. Partindo da figura infra referenciada averigua-se que 79 (37,6%) nascentes encontram-se localizadas em áreas com vulnerabilidade moderada a baixa, 60 (28,6%) nascentes em áreas com vulnerabilidade baixa e 53 (25,2%) nascentes em áreas com vulnerabilidade muito baixa. Relativamente as áreas com vulnerabilidade moderada a alta, elevada e muito elevada concentram 18 (8,6%) nascentes. Através dos dados anteriormente referidos constata-se que as nascentes encontram-se em áreas em que a vulnerabilidade à contaminação varia entre muito baixa até moderada a baixa, o que leva concluir que estas são pouco vulneráveis a potenciais contaminantes, devido a fatores físicos, mas também antrópicos.



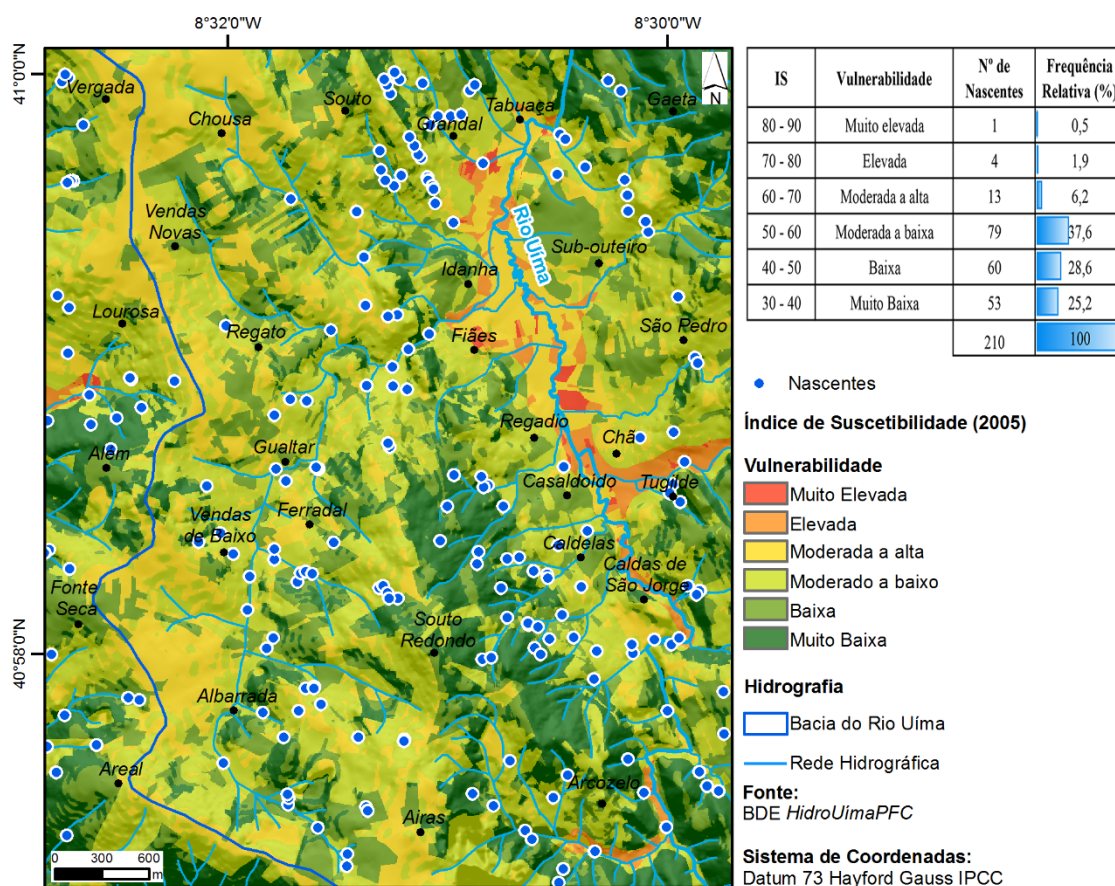


Figura 59 - IS 2005 e localização das nascentes.

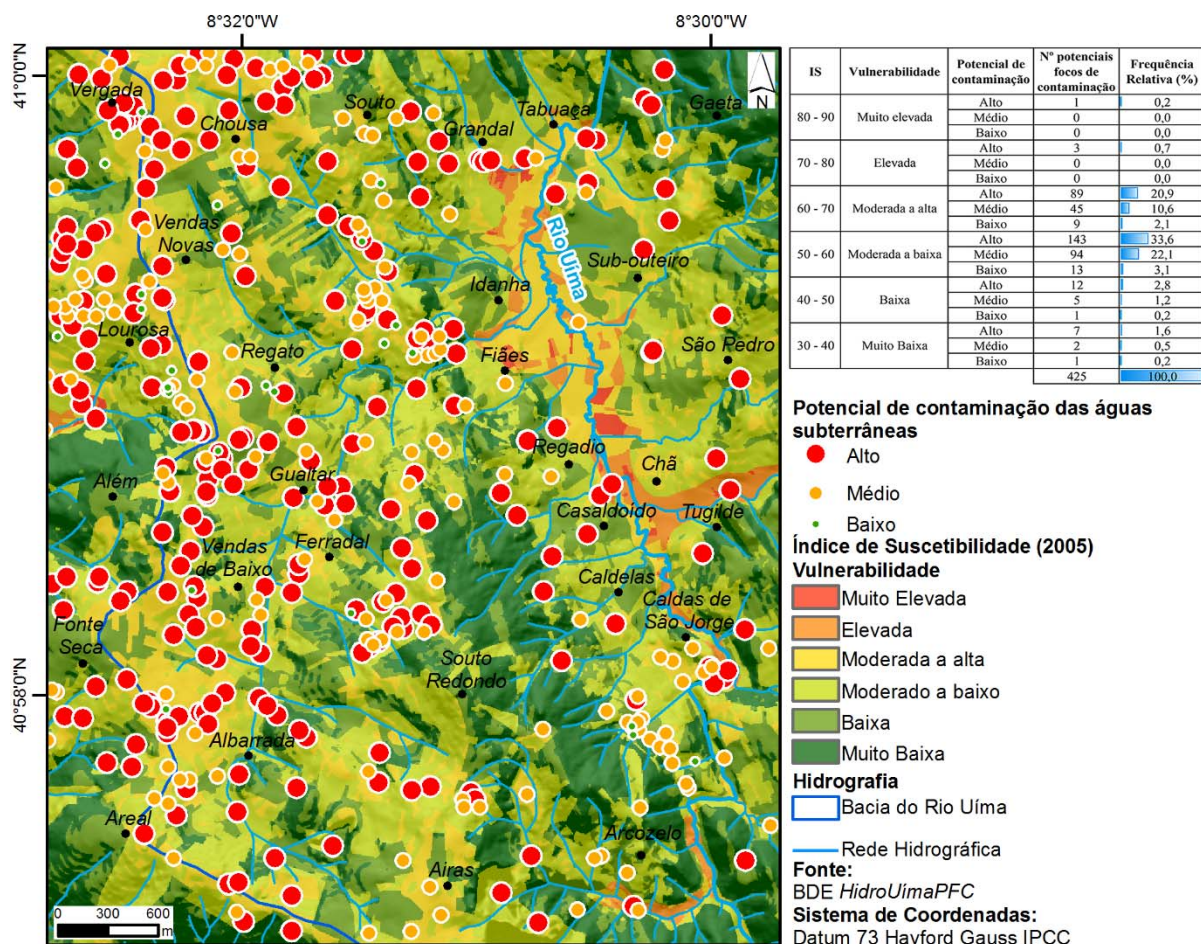
### 3.8.2 – IS 2005 / POTENCIAIS FOCOS DE CONTAMINAÇÃO / POTENCIAL DE CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

A figura 60 ostenta o cruzamento entre os dados obtidos do IS de 2005 com o potencial de contaminação das águas subterrâneas proveniente dos potenciais focos de contaminação. Observando a figura acima referida verifica-se, de uma forma simplificada, que 250 (58,8%) potenciais focos de contaminação localiza-se em áreas com vulnerabilidade moderada a baixa, 143 (33,6%) concentram-se em áreas com vulnerabilidade moderada a alta, 28 (6,5%) apresentam-se em áreas com vulnerabilidade muito baixa e baixa e 4 (0,9%) incidem em áreas com vulnerabilidade elevada e muito elevada.

No que toca ao potencial de contaminação das águas subterrâneas constata-se em que:

- Áreas com vulnerabilidade moderada a baixa, 143 (33,6%) potenciais focos de contaminação apresentam um potencial de contaminação das águas subterrâneas alto, 94 (22,1%) ostentam um potencial de contaminação das águas subterrâneas médio e 13 (3,1%) exibem um potencial de contaminação das águas subterrâneas baixo.

- Áreas com vulnerabilidade moderada a alta, 89 (20,9%) potenciais focos de contaminação mostram um potencial de contaminação das águas subterrâneas alto, 45 (10,6%) indicam um potencial de contaminação das águas subterrâneas médio e 9 (2,1%) ostentam um potencial de contaminação das águas subterrâneas baixo.
- Áreas com vulnerabilidade baixa, 12 (2,8%) potenciais focos de contaminação apontam para um potencial de contaminação das águas subterrâneas alto, 5 (1,2%) mostram um potencial de contaminação das águas subterrâneas médio e em 1 (0,2%) averigua-se um potencial de contaminação das águas subterrâneas baixo.
- Áreas com vulnerabilidade muito baixa, 7 (1,6%) potenciais focos de contaminação condizem com um potencial de contaminação das águas subterrâneas alto, 2 (0,5%) coincidem com um potencial de contaminação das águas subterrâneas médio e 1 (0,2%) concordam com um potencial de contaminação das águas subterrâneas baixo.
- Áreas com vulnerabilidade elevada apresenta 3 (0,7%) potenciais focos de contaminação com um potencial de contaminação das águas subterrâneas alto.
- Áreas com vulnerabilidade muito elevada se contabiliza 1 (0,2%) potencial foco de contaminação com um potencial de contaminação das águas subterrâneas alto.



**Figura 60 - IS 2005 e localização dos potenciais focos de contaminação pelo potencial de contaminação das águas subterrâneas.**

Em síntese, a apresentação dos resultados dos recursos hídricos subterrâneos, potenciais focos de contaminação dos recursos hídricos subterrâneos e das áreas vulneráveis à contaminação das águas subterrâneas pretendeu alertar para a importância da inventariação e conhecimento dos diversos elementos do território. Desta forma, através da criação de suportes cartográficos, resultantes da BDE *HidroUímaPFC* 2015, constituiu-se uma ferramenta importante de suporte para a valorização, gestão e proteção das diversas nascentes e dos diversos aquíferos na área de estudo. As construções das BD e posteriormente da BDE correspondem a metodologias fulcrais para os processos de decisão, contruindo assim, para um melhoramento do ordenamento do território.

## **CAPÍTULO IV**

---

### **CONCLUSÕES**

## 4 – CONCLUSÕES

### 4.1 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

A realização da presente dissertação correspondeu a uma investigação multidisciplinar, relativa ao tema dos recursos hídricos subterrâneos, dos potenciais focos de contaminação dos recursos hídricos subterrâneos e das áreas vulneráveis à contaminação, tendo por base uma área de estudo localizada num setor da bacia hidrográfica do Rio Uíma (Santa Maria da Feira). A metodologia aplicada na investigação revelou-se bastante vantajosa para a resolução dos objetivos propostos e para a obtenção de dados novos relativos aos recursos hídricos subterrâneos, potenciais focos de contaminação e áreas vulneráveis à contaminação de aquíferos, que não constavam na cartografia militar, nem na cartografia municipal.

Com a pesquisa cartográfica e documental alcançaram-se informações pertinentes para a caracterização da área de estudo em diversas vertentes, com enfoque nas áreas da hidrogeologia, geologia e geomorfologia. A observação de indicadores de recursos hídricos subterrâneos na cartografia militar de 1998 contribui para, *a posteriori*, validar essa informação durante o trabalho de campo, através da inquirição dos habitantes e agricultores, levando à identificação e localização de um número significativo de novas nascentes na área de estudo. No que concerne aos potenciais focos de contaminação, estes foram observados *a priori*, em contexto de trabalho de gabinete e validados em campo, inquirindo habitantes e administradores locais.

A criação de duas fichas de inventário constitui uma metodologia eficaz para a recolha e organização dos dados provenientes do trabalho de campo. *A posteriori*, estes dados foram inseridos em duas BD, e integrados num SIG, através de uma BDE, o que possibilitou a leitura e interpretação das diversas características do território, permitindo compreender espacialmente a localização da distribuição dos recursos hídricos subterrâneos, potenciais focos de contaminação e ainda, verificar quais as áreas, que pela conjugação de determinadas características (naturais ou antrópicas), possam estar vulneráveis a problemas de contaminação das águas subterrâneas

A integração da informação nos SIG, também proporcionou a elaboração de todos os elementos cartográficos presentes na investigação, revelando-se uma ferramenta vantajosa para uma abordagem multidisciplinar, no âmbito do armazenamento da informação recolhida e apoio ao conhecimento científico e técnico.

Através da análise dos resultados provenientes da BDE, considera-se relevante, nesta fase, apresentar algumas interpretações e conclusões mais pertinentes.

Iniciando-se pelos recursos hídricos subterrâneos, de um total de 210 nascentes inventariadas constatou-se que a sua utilização mais frequente correspondia ao desenvolvimento de atividades

agrícolas, o seu tipo de emergência predominante incidia nas emergências à superfície guiadas por minas e a sua emergência, em termos de geomorfologia recai nas encostas.

Outro facto constatado incide na relação da curva hipsométrica com a curva das nascentes, levando a crer que possam existir duas possíveis áreas de recarga e descarga dos aquíferos.

No que se refere ao parâmetro da condutividade elétrica, os valores obtidos e analisados sugerem nascentes com boa qualidade, no entanto verificou-se a existência de um elevado número de nascentes sem qualquer utilização, e dada a importância que a água adquire em termos globais, como um recurso natural fundamental para a sobrevivência da humanidade, considera-se que estas nascentes podem ter um enorme potencial, enquanto pontos de emergência de água subterrânea, constituindo um desafio a sua valorização e aproveitamento. Através da análise espacial deste parâmetro, na área de estudo, identificaram-se áreas em que as nascentes pudessem estar mais propícias a contaminações e deste modo, menos favoráveis para a captação de água subterrânea. As nascentes localizadas junto das povoações das Caldas de São Jorge, Caldelas e Casaldoído, apresentam em termos gerais, melhores resultados nos parâmetros físico-químicos analisados. Em contra partida, os valores mais altos nos parâmetros físico-químicos, encontram-se distribuídos heterogeneamente pela área de estudo, correspondendo aos designados *outliers* e correspondem a locais com uma forte ação antrópica.

Relativamente aos potenciais focos de contaminação inventariou-se 426, correspondendo na sua maioria a indústrias. Espacialmente, estes localizavam-se em zonas industriais e junto de habitações, algo típico da área de estudo. Em termos de tipologia constatou-se o predomínio da tipologia pontual. Através da análise do potencial de contaminação das águas subterrâneas averiguou-se a existência do predomínio do potencial de contaminação alto na área de estudo. Este facto está associado à existência de diversos focos de contaminação potencial com contaminantes ligados a produtos químicos e a águas residuais.

De forma, a verificar as áreas vulneráveis à contaminação os aquíferos utilizou-se o IS (Índice de Suscetibilidade) para dois períodos de análise, 1974 e 2005. Através dos dados obtidos, pela soma ponderada dos diversos parâmetros, constatou-se que, tanto 1974 como em 2005, as áreas de vulnerabilidade à contaminação de aquíferos correspondiam às classes de moderada a baixa, baixa e muito baixa. Porém, em 2005 verificou-se um aumento significativo face a 1974, nas áreas com vulnerabilidade moderada a alta à contaminação das águas subterrâneas. Referente às nascentes verificou-se, no IS 2005, que a maioria se encontrava em áreas com vulnerabilidade à contaminação de aquíferos moderada a baixa, baixa e muito baixa.

Com esta investigação, pretendeu-se alertar para a importância da inventariação e conhecimento dos recursos hídricos subterrâneos, dos potenciais focos de contaminação e das áreas vulneráveis à contaminação de aquíferos, de forma a contribuir para uma valorização, gestão e proteção adequada do recurso, água subterrânea. Através da utilização de diversas ferramentas SIG, foram criados suportes



cartográficos e base de dados que apoiassem os processos de decisão, contribuindo assim, para um ordenamento do território à escala municipal capaz de responder aos atuais problemas no panorama das águas subterrâneas.

## **4.2 – PERSPETIVAS FUTURAS**

O trabalho de campo originou o levantamento de uma série de questões acerca das águas subterrâneas. Desta forma, seria interessante desenvolver, futuramente, algumas investigações que ajudassem a responder a alguns desafios científicos, dentro da temática das águas subterrâneas, tais como:

1. Alargamento do inventário ao município, de modo a entender a dinâmica existente relativa ao processo de infiltração das águas superficiais, fluxos de água subterrânea e ressurgimento da água subterrânea;
2. Estudos hidrogeológicos de pormenor, nomeadamente, hidrogeoquímicos e de hidrologia isotópicas;
3. Aprofundamento das questões da deformação tectónica, relacionadas com a emergência de água termal;
4. Verificar a capacidade, em termos de caudal das diversas nascentes guiadas para tanques de armazenamento, de modo a contribuir como locais geoestratégicos no apoio ao combate a fogos florestais;
5. Concretização da integração da BDE *HidroUímaPFC* numa plataforma WebSIG, de modo a promover o conhecimento e interação com o grande público;
6. Estudos de caso dos vários *outliers* de modo a compreender quais os processos que possam estar na origem de dados totalmente diferentes que os constatados;
7. Criação de um índice de vulnerabilidade intrínseca e específica capaz incluir o potencial de contaminação das águas subterrâneas dos potenciais focos de contaminação.

## **CAPÍTULO V**

---

### **BIBLIOGRAFIA**

## **5 – BIBLIOGRAFIA**

### **5.1 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Afonso M. J., Chaminé H. I., Gomes A., Teixeira J., Araújo M. A., Fonseca P. E., Carvalho J. M., Marques J. M., Marques da Silva M. A. & Rocha F. T., 2004, Cartografia geológica e geomorfológica estrutural da área metropolitana do Porto: implicações na gestão dos recursos hídricos subterrâneos. *Xeográfica, Revista de Xeografia, Territorio e Medio Ambiente*, Univ. de Santiago de Compostela, 4: 101-115.

Afonso, M. J., Chaminé, H.I., Marques J.M., Carreira P.M., Guimarães L., Guilhermino L., Gomes A., Fonseca P.E., Pires A. & Rocha F., 2010, Environmental issues in urban groundwater systems: a multidisciplinary study of the Paranhos and Salgueiros spring waters, Porto (NW Portugal). *Environmental Earth Science*, 61:379-392.

Albinet, M. & Margat, J., 1970, Cartographie de la vulnérabilité à la pollution des nappes d'eau souterraine. *Bull. BRGM*, 2ème série, 3(4), 13-22.

Aller, L., Bennet, T., Lehr, J.H. & Petty, R. J., 1987, DRASTIC: a standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic settings, U.S. EPA Report.

Araújo, M. A., 1991, Evolução geomorfológica da plataforma litoral da região do Porto. Faculdade de Letras da Universidade do Porto. 534 pp. + Vol. Anexos, 87 pp. (Tese de doutoramento).

Araújo, M.A., 2000, Depósitos de fácies continental e marinho na plataforma litoral da região do Porto: importância da tectónica na sua organização espacial, *Ciências da Terra (UNL)*, nº 14, Lisboa, p. 111-122.

Arzu Firat, E. & Fatma, G., 2013, DRASTIC-based methodology for assessing groundwater vulnerability in the Gümüşhacıköy and Merzifon basin (Amasya, Turkey). *Earth Sciences Research Journal*, 17(1), 33-40.

Babar, M., 2005, *Hydrogeomorphology: fundamentals, applications and techniques*. New India Publishing Agency, New Delhi, 274 pp.

Bastos, C., Quintela, M. M. & Matos, A. P., 2008, O novo aquífero. (<http://www.aguas.ics.ul.pt/>).

- Bouwer, H., 1978, Groundwater hidrology, McGraw Hill Book Company, Inc., New York, 480pp.
- Cabral, J. M. L. C. & Ribeiro, A., 1988, Carta neotectónica de Portugal continental. Direcção de Geologia e Minas. Serviços Geológicos de Portugal.
- Cabral, J., 1995, Neotectónica em Portugal Continental, Memórias do Instituto Geológico Mineiro, Lisboa, vol.31, pp.1-256.
- Carneiro, J. & Carvalho, J. M., 2010, Groundwater modelling as an urban planning tool: issues raised by a small-scale model. Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology, 43 (2), 157-170.
- Carta Geológica de Portugal, 1/50 000, folhas n°s 13-A (Espinho), 13-B (Castelo de Paiva), Laboratório Nacional de Energia e Geologia, Lisboa.
- Carvalho, J. M. & Chaminé, H. I., 2007, Uma perspectiva sobre o valor acrescentado das Ciências da Terra nas indústrias do termalismo e do engarrafamento de água. in Carvalho, J. M., and Chaminé, H. I., eds., O valor acrescentado das Ciências da Terra no termalismo e no engarrafamento da água: artigos seleccionados do II Fórum Ibérico de Águas Engarrafadas e Termalismo. Porto, Departamento de Engenharia Geotécnica/Laboratório de Cartografia e Geologia Aplicada do Instituto Superior de Engenharia do Porto, pp. 11-23.
- Carvalho, J. M., 1996, Mineral water exploration and exploitation at the Portuguese Hercynian Massif. Environmental Geology, 27(3), 252-258.
- Carvalho, J. M., 2006, Prospecção e pesquisa de recursos hídricos subterrâneos no Maciço Antigo Português: linhas metodológicas. Tese de Doutoramento, Universidade de Aveiro, Aveiro, 292 pp.
- Carvalho, J. M., Plasencia, N., Chaminé, H. I., Rodrigues, B. C., Dias, A. G., & Silva, M. A., 2000, Recursos hídricos subterrâneos em formações cristalinas do Norte de Portugal. Jornadas Hispano-Lusas sobre 'Las Aguas Subterráneas en el Noroeste de la Península Ibérica'. Textos de las Jornadas, Mesa Redonda y Comunicaciones, A Coruña. AIH – GE/APRH. Publicaciones ITGE, Madrid, 163-171.
- Carvalho, J.M., Espinha Marques J., Afonso M.J. & Chaminé H.I., 2005, O caudal de exploração em captações de água mineral natural e de nascente em rochas cristalinas do maciço antigo português. In: F. Fernández Rubio (ed.), Proceedings del I Foro Ibérico sobre Aguas Envasadas y Balnearios, Madrid, 12 pp.
- CE, 2000, Diretiva 2000/60/CE do Parlamento Europeu e do Conselho Europeu de 23 de Outubro de 2000. Estabelece o Enquadramento para as Acções Comunitárias no Domínio da Política da Água. Jornal Oficial 22 de Dezembro de 2000 L 327/1. Bruxelas: Comissão Europeia.
- Chaminé, H. I., 2000, Estratigrafia e estrutura da faixa metamórfica de Espinho-Albergaria-a-Velha (Zona de Ossa-Morena): implicações geodinâmicas. Tese de Doutoramento. Universidade do Porto.

Chaminé, H. I., Carvalho, J., Teixeira, J. & Freitas, L., 2015, Role of hydrogeological mapping in groundwater practice: back to basics *European Geologist*, nº 40, pp.34-42

Chaminé, H. I., Gama Pereira, L.C., Fonseca, P.E., Noronha, F. & Lemos de Sousa, M.J., 2003, Tectonoestratigrafia da faixa de cisalhamento de Porto–Albergaria-a-Velha–Coimbra–Tomar, entre as Zonas Centro-Ibérica e de Ossa-Morena (Maciço Ibérico, W de Portugal). *Cad. Lab. Xeol. Laxe, A Coruña*, 28, pp. 37-78.

Childs, C., 2004, Interpolating surfaces in ArcGIS spatial analyst. *ArcUser*, July-September, 32-35.

Civita, M. & Maio, M.D., 2004, Assessing and Mapping Groundwater Vulnerability to Contamination: Italian “Combined” Approach; *Geofísica internacional*, vol. 43, num.4:513-532.

Civita, M., 1990, La valutazione della vulnerabilità degli acquiferi.

Cleary, R. W., 1989, Águas subterrâneas, Engenharia hidrológica - Volume 2, Associação Brasileira de Recursos Hídricos.

Custódio, E. & Llamas, M. R., 1996, Hidrologia subterrânea, Omega, Barcelona, 2 Vols, 2350 pp.

Custodio, E. & Llamas, M. R., 2001, Hidrología subterrânea, Segunda edição, Ediciones Omega, SA, Barcelona, 2350 pp.

Dallmeyer, R.D. & Martínez García, E., 1990, Pre-Mesozoic Geology of Iberia. Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 427 pp.

Daveau, S., 1985, Mapas climáticos de Portugal: nevoeiro e nebulosidade, contrastes térmicos (Vol. 7). Centro de Estudos Geográficos.

Dingman, S. L., 1994, Physical hydrology, Prentice Hall, New Jersey, 575 pp.

Domenico, P. A. & Schwartz, F. W., 1998, Physical and chemical hydrogeology, John Wiley and Sons, New York, 824 pp.

Doyle, F.J., 1978, Digital terrain models: an overview, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, S/Local, 1481-1485.

Espinha Marques, J., 2007, Contribuição para o conhecimento da hidrogeologia da região do Parque Natural da Serra da Estrela (sector de Manteigas – Nave de Santo António – Torre). Tese de Doutoramento, Universidade do Porto, 378 pp.

Felicísimo, A.M., 1994, Modelos Digitales del Terreno – Introducción y aplicaciones en las ciencias ambientales, Pentalfa Ediciones, S/Local, 4-5. Disponível em <http://www.etsimo.uniovi.es/~feli/pdf/libromdt.pdf>.

Ferreira, A. B., 1978, Planaltos e Montanhas do Norte da Beira - Estudo de Geomorfologia. Memórias do Centro de Estudos Geográficos, nº 4, 379 pp.

Ferreira, A. B., 1979, Os mantos de alteração e o modelado das regiões graníticas: ideias recentes e orientações de pesquisa. Finisterra, CEG, XIV, 28, pp. 218-244.

Fetter, C. W., 1994, Applied Hydrogeology. New Jersey: College Publishing Company.

Fetter, C. W., 2001, Applied Hydrogeology. Prentice-Hall, Inc, New Jersey, 598 pp.

Foster, S. S. D. & Chilton, P. J., 2003, Groundwater: the processes and global significance of aquifer degradation. Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B-Biological Sciences, 358(1440), 1957-1972. doi: 10.1098/rstb.2003.1380

Foster, S., 1987, Fundamental concepts in aquifer vulnerability, pollution risk and protection strategy. In: Van Duijvenbooden W, Van Waegeningh HG (eds) Vulnerability of soil and groundwater to pollutants. Committee on Hydrological Research, The Hague, pp 69 – 86.

Foster, S., Hirata, R., Gomes, D., D'Elia, M. & Paris, M., 2006, Groundwater Quality Protection: A Guide for Water Service Companies, Municipal Authorities and Environment Agencies; The International Bank for Reconstruction and Development/The World Bank; Tradução: Silvana Vieira, 2006, Proteção da qualidade da água: Um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais, Servmar – Serviços Técnicos Ambientais Ltda, Brasil.

Francés, A., Paralta, E., Fernandes, J. & Ribeiro, L., 2001. Development and application in the Alentejo region of a method to assess the vulnerability of groundwater to diffuse agricultural pollution: the susceptibility index, in 3rd International Conference on Future Groundwater Resources at Risk, Lisboa (Portugal), 25 - 27 Jun.

Fraústo da Silva, J. J. & Vaz, M. C. T. A., 1988, Lições de Química-Física Hidrológica. 139 pp. Instituto Português de Hidrologia.

Freeze, R. A. & Cherry, J. A., 1979, Groundwater. Prentice-Hall, New Jersey, 604 pp.

Freire de Andrade, C., 1937, Os vales submarinos portugueses e o diastrofismo das Berlengas e da Estremadura. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa. 236 pp.

Freire de Andrade, C., 1938/40), Algumas considerações sobre a geologia dos arredores de Espinho e das Caldas de S. Jorge. Bol. Mus. Lab. Min. Geol. Fac. Ciênc. Univ. Lisboa, 7-8 (3ª série): 23-35.

Freitas, L., 2010, Análise hidro-histórica das águas subterrâneas do Porto, séculos XIX a XXI: inventário, base de dados e cartografia SIG. Tese de Mestrado. Faculdade de Letras da Universidade do Porto.



- Friedel, M. J., 2005, Coupled inverse modeling of vadose zone water, heat, and solute transport: calibration constraints, parameter nonuniqueness, and predictive uncertainty. *Journal of Hydrology*, 312(1), 148-175.
- Gama Pereira, L.C., 1987, Tipologia e evolução da sutura entre a Zona Centro Ibérica e a Zona Ossa Morena no sector entre Alvaiázere e Figueiró dos Vinhos (Portugal Central). Dissertação de Doutoramento, Universidade de Coimbra, 331 pp.
- Gomes, A., 2008, Evolução Geomorfológica da Plataforma Litoral entre Espinho e Águeda. 339pp. (Tese de Doutoramento em Geografia Física), Faculdade de Letras, Universidade do Porto.
- Gomes, A., Ferreira, J. & Araújo, M. D. A., 2002, A riqueza geomorfológica e geológica da praia de Lavadores (Vila Nova de Gaia): um património a divulgar e a preservar. Seminário Região do Porto: Áreas Naturais para o Século XXI, Parque Biológico de Vila Nova de Gaia.
- Gomes, R. M. M., 2014, Recursos hídricos subterrâneos: inventário, cartografia SIG, metodologia e potencialidades. Caso de estudo: bacia hidrográfica da Ribeira de Sá, Sardoura, Castelo de Paiva. Tese de Mestrado. Faculdade de Letras da Universidade do Porto.
- Gómez, M., 1998, Caracterização da Vulnerabilidade dos aquíferos à contaminação dos aquíferos. Aplicação dos índices DRASTIC e GOD. Curso sobre contaminação de Solos e Águas Subterrâneas, Centro de Estudos e Experimentação de Obras Públicas, Madrid.
- González de Vallejo, L., Ferrer, M., Ortuño, L. & Oteo, C., 2002, Ingeniería geológica. Pearson Educación, Madrid, 715 pp.
- Guo Q. & Wang Y., 2009, Trace Element Hydrochemistry Indicating Water Contamination in an Around the Yangbajing Geothermal Field, Tibet, China. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 83, 608-613.
- Hamblin, W. K. & Christiansen, E. H., 1998, *Earth's Dynamic Systems*. 8th Edition. Prentice Hall, New Jersey. 674 pp.
- Hardcastle, B.J., 1987, Wells ancient and modern: a historical review. *Quarterly Journal of Engineering Geology*, London, 20: 231-238.
- Heath, R. C., 1982, Basic ground-water hydrology. U.S.G.S. Water-Supply Paper 2220, 84 pp.
- Hiscock, K. M., 2005, *Hydrogeology Principles and Practice*. Blackwell Publishing, 389 pp.
- Jha, M., Chowdhury, A., Chowdary, V. & Peiffer, S., 2007, Groundwater management and development by integrated remote sensing and geographic information systems: prospects and constraints. *Water Resources Management*, 21(2): 427-467.

- Julivert, M., Fontbote, J., Ribeiro, A., & Conde, L., 1972, Mapa tectónico de la Península.
- Kresic, N., 2007, Hydrogeology and Groundwater Modelling. 2nd. Edition. CRC Press (Taylor and Francis Group), 807 pp.
- Lencastre, A. & Franco, F. M., 2006, Lições de Hidrologia. Fundação da Faculdade de Ciências da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa 451 pp.
- Liggett, J.E. & Allen, D.M., 2010, Evaluating the sensitivity of DRASTIC using the different data sources; interpretations and mapping approaches. Environ Earth sci, doi: 10.1007/s 12665-010-0642-z.
- Lima, A. D. S., & Barbosa, S., 2011, Prospeção de recursos hidrominerais em terrenos cristalinos: caso de estudo em Caminha, noroeste de Portugal. 10º Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Portuguesa.
- Lima, A. S., 1994, Hidrologia de Regiões Graníticas (Braga – NW de Portugal). Tese de Mestrado, Universidade do Minho, Braga, 202pp.
- Lin, H., 2010, Earth's Critical Zone and hydrogeology: concepts, characteristics, and advances. Hydrol. Earth Syst. Sci., 14(1): 25-45.
- Lobo-Ferreira, J.P.C., 1998, Vulnerabilidade à poluição de águas subterrâneas: fundamentos e conceitos para uma melhor gestão e protecção dos aquíferos de Portugal. 4º Congresso da Água, Lisboa.
- Lotze, F., 1945, Zur Gliederung der Varisziden der Iberischen Meseta. Geotekt. Forsch., 6: 78-92. (Tradução de J. M. Rios: Observaciones respecto a la division de los variscides de la Meseta Iberica. Inst. L. Mallada, Publ. Extranjeras, V (27). Geol. España, 5, Madrid, 1950, p.149-166.)
- Maddala, G. S., 1992, Outliers. Introduction to Econometrics (2nd ed.). New York: MacMillan. pp. 88–96 [p. 89]. ISBN 0-02-374545-2. An outlier is an observation that is far removed from the rest of the observations.
- Marsily, G., 1986, Quantitative Hydrogeology, Academic Press, 440 pp.
- Marsily, G., 1997, A água, Biblioteca Básica da Ciência e Cultura, Instituto Piaget, Lisboa, 149 pp.
- Matos, J., 2008, Fundamentos de Informação Geográfica, LIDEL, Lisboa, 165pp.
- Mayer, L., 2000, Application of digital elevation models to macroscale tectonic geomorphology. Geomorphology and global tectonics. Wiley, Chichester, 15-28.
- Mendes, B. & Oliveira, J. F. S., 2004, Qualidade da água para consumo humano, Lidel, Lisboa, 626 pp.
- Miller, C. L. & La Flamme, A. R., 1958, The digital theory application. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 7, 433-442.

Moore, J. E., 2011, Field hydrogeology: a guide for site investigations and report preparation. CRC Press.

Moreira, D., 2005, Rio Às-Aveas. Revista Ulfinalis Villa, Nº4, Comissão de defesa do património e ação cultural.

Noronha, F., 2005, Geologia, Tectónica, Geomorfologia e Sismicidade da cidade Do Porto. Workshop sobre a Carta Geotécnica da Cidade do Porto, 8 pp.

Olaya, V., 2011, Sistemas de Información Geográfica - Tomo I, Crative Common Atributes, S/ Local, 430-431.

Paralta, E., Francés, A. & Ribeiro, L. F., 2005, Avaliação da Vulnerabilidade do Sistema Aquífero dos Gabros de Beja e Análise Crítica das redes de monitorização no Contexto da Directiva Quadro da Água.

Paralta, E., Oliveira, M., Batista, S., Francés, A., Ribeiro, L. & Cerejeira, M., 2001, A aplicação de SIG na avaliação da vulnerabilidade aquífera e cartografia da contaminação agrícola por pesticidas e nitratos na região do Ribatejo. Seminário sobre a Hidroinformática em Portugal; LNEC, Lisboa.

Pedrosa, M. Y., 1999, Notícia explicativa da Carta Hidrogeológica de Portugal, à escala 1/200000.

Pulido, J. L., 1978, Hidrogeología práctica. In Hidrogeología práctica. URMO.

Resolução do Conselho de Ministros n.º 81/2012, de 3 de outubro. Diário da República, Série I, nº192. [Consultado a 5 jun. 2015]. Disponível em <https://dre.pt/application/dir/pdf1sdip/2012/10/19200/0550205527.pdf>

Ribeiro, A., 2006, A evolução geodinâmica de Portugal. In: Geologia de Portugal no contexto da Ibéria (Dias, R., Araújo, A., Terrinha, P. e Kullberg, Editores). Universidade de Évora, Évora, pp. 1-27.

Ribeiro, A., Antunes, M.T., Ferreira, M.P., Rocha, R.B., Soares, A.F., Zbyszewski, G., Moitinho De Almeida, F., Carvalho, D. & Monteiro, J.H., 1979, Introduction à la géologie générale du Portugal. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa, 114 pp.

Ribeiro, A., Munhá, J., Dias, R., Mateus, A., Pereira, E., Ribeiro, L., Fonseca, P., Araújo, A., Oliveira, T., Romão, J., Chaminé, H., Coke, C. & Pedro, J., 2007, Geodynamic evolution of the SW Europe Variscides. Tectonics, 2; TC6009, 24 pp.

Ribeiro, A.; Quesada, C. & Dallmeyer, R.D., 1990, Geodynamic evolution of the Iberian Massif. In: Dallmeyer, R. D. & Martínez-García, E.; Eds, Pre-Mesozoic Geology of Iberia, Springer Verlag, Berlin, pp. 397-410.

Ribeiro, A., Pereira, E., Chaminé, H. I. & Rodrigues, J., 1995, Tectónica do megadomínio de cisalhamento entre a Zona de Ossa-Morena e a Zona Centro-Ibérica na região de Porto-Lousã. In: Sodré

Borges, F. & Marques, M., Coords., IV Congresso Nacional de Geologia, Porto. Mem. Mus. Labor. miner. geol. Fac. Ciênc. Univ. Porto, 4: 299-303.

Ribeiro, C., 1860, Memória sobre o grande filão metallífero que passa ao nascente d'Albergaria a Velha e Oliveira d'Azemeis. Memória Academia Real Ciências, N.S., 2, II, pp. 5-105.

Ribeiro, L., 2000, Development of a susceptibility index to be used in agricultural diffuse pollution, internal report, ERSHA-CVRM, 9pp.

Ribeiro, L., 2005, Um novo índice de vulnerabilidade específico de aquíferos – formulação e aplicações. Publicações do VII Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa (SILUSBA). Évora, 30 de Maio a 2 de Junho de 2005.

Robins, N.S., Chilton, P.J. & Cobbing, J. E., 2007, Adapting existing experience with aquifer vulnerability and groundwater protection for Africa. Journal of African Earth Sciences. Elsevier. v. 47, 30 – 38.

Rochette Cordeiro, A.M., 2004, Dinâmica de vertentes em montanhas ocidentais do Portugal Central. Dissertação de Doutoramento, Universidade de Coimbra, 562 pp.

Rodrigues, C., Carvalho, J. M., Afonso, M. J., Teixeira, J. & Chaminé, H. I., 2010, Do modelo conceptual à captação hidrogeológica: importância em estudos de recursos geológicos e de geoengenharia. Publicações da Associação Nacional dos Engenheiros Técnicos - ANET, Porto, 21 pp.

Rodrigues, J. D., 1984, Noções de Hidrogeologia. Geonovas, Lisboa. 7: 11-30.

Rogers, W. J., 2003, Encyclopedia of Water Science. Marcel Dekker, Inc.

Sá, M., 1940, Santa Maria de Fiães da Terra de Santa Maria - Subsídios para a sua história. Tipografia da Casa Nun'Alvares, Porto.

Sahuquillo, A., 2002, Desarrollos científicos y nuevas tendencias en hidrogeología. Presente y futuro de las aguas subterráneas en la provincia de Jaén, 1-15.

Silva, E., Teixeira, J., Gomes, R. & Gomes, A. (2015). Recursos hídricos subterrâneos na Bacia do Rio Uíma, Santa Maria da Feira: Um contributo para o ordenamento do território a nível municipal. VII Congresso Nacional de Geomorfologia. IGOT. Lisboa. Disponível em <https://app.box.com/s/fy4z9o5y27n0wl1u25axxbn0l3dszqyt> pp. 359-364

Silva, S., 2012, A voz do Monte da Pedreira. Personalidade, Fiães.

Sinan, M. & Razack, M., 2008, An extension to the DRASTIC model to assess groundwater vulnerability to pollution: application to the haouz aquifer of Marrakech (Marocco). Environ. Geol. 57: 349-363, doi 10.1007/s00254-008-1304-2.

- Singhal, B. B. & Gupta, R. P., 2010, *Applied Hydrogeology of Fractured Rocks*. Springer-Verlag GmbH, 408 pp.
- Soares, L., 1992, Contributo para o estudo da morfologia das Serras de Campelos e Maragotos. *Geografia, Revista da FLUP*, pp. 163-320.
- Stigter, T., Vieira, J. & Nunes, L., 2002, Avaliação da Susceptibilidade à Contaminação das águas Subterrâneas no Apoio à Tomada de Decisão, Caso de Estudo: Implantação de Campos de Golfe no Concelho de Albufeira (Algarve). In 6º Congresso Nacional da Água, Porto.
- Teixeira, C. M. F., 2008, Estudo hidrogeológico e hidropedológico das áreas periurbanas de Valbom e Avintes: implicações na gestão dos recursos hídricos subterrâneos. Tese de Mestrado, Instituto Superior de Engenharia do Porto.
- Teixeira, C., 1955, Notas sobre Geologia de Portugal. O sistema Silúrico, Lisboa, 105 pp.
- Teixeira, C., 1970, Aspectos geológicos da orla litoral do Porto e de V. N. de Gaia. *Revista Naturália*, vol. X, fasc. I, pp. 13-29.
- Teixeira, J., 2006, Geomorfologia e morfotectónica de relevos quartzíticos: implicações na gestão de georrecursos. Dissertação de Mestrado, Universidade de Aveiro, 159 pp.
- Teixeira, J., 2011, Hidrogeomorfologia e sustentabilidade de recursos hídricos subterrâneos. Tese de Doutoramento, Universidade de Aveiro e Universidade do Porto
- Tempelhoff, J., Hoag H., Ertsen M., Arnold E., Bender M., Berry K., Fort C., Pietz D., Musemwa M., Nakawo M., Ur J., Dam P. v., Melosi M., Winiwarter V. & Wilkinson T., 2009, Where has the water come from. *Water History*, 1: 1-8
- Thangarajan, M., 2007, *Groundwater flow and mass transport modeling*. Capital Pub. Co..
- UNESCO, 1992, *Groundwater*. UNESCO, Paris, France, Environ. and Development Briefs No. 2, 14 pp.
- Vrba, J. & Zaporozec, A., 1994, *Guidebook on Mapping Groundwater Vulnerability*. International Contributions to Hydrogeology, 16. Verlag Heinz Heise, Hannover, 131 pp.
- Wang, L., 2007, Assessment of Groundwater Vulnerability to Landfill Leachate Induced Arsenic Contamination in Maine, US—Intro GIS Term Project Final Report, Department of Civil and Environmental Engineering
- World Bank, 2004, *Water resources sector strategy: strategic directions for world bank engagement*, World Bank Publications, Washington, 100 pp.
- Yeh, H.-F., Lee, C.-H., Hsu, K.-C. & Chang, P.-H., 2009, GIS for the assessment of the groundwater recharge potential zone. *Environmental Geology*, 58(1): 185-195.

Young, A., 1972, Slopes (Vol. 288). K. M. Clayton (Ed.). London: Oliver & Boyd.

Zaporozec, A. & Miller, J. C., 2000, Ground-Water Pollution. UNESCO, Paris. 24.

Zaporozec, A., 2002, Groundwater contamination inventory: A methodological guide. In IHP-VI, Series on groundwater (Vol. 2). Unesco.

Zaporozec, A., 2004, Groundwater contamination inventory: a methodological guide with a model legend for groundwater contamination inventory and risk maps. IHP-VI, series on groundwater, 2.

## **5.2 – WEBGRAFIA**

[http://www.lneg.pt/CienciaParaTodos/edicoes\\_online/diversos/agua\\_subterranea/texto#c3](http://www.lneg.pt/CienciaParaTodos/edicoes_online/diversos/agua_subterranea/texto#c3)

<http://www.todavidanutricao.com.br/site/wp-content/uploads/2014/10/Escala-3.png>





## **ANEXOS**

---

# Anexo 1 - Estruturação da Base de Dados *HidroUíma*

ID	Lugar	Freguesia	Concelho	Nº Carta Militar	Nome da Estrutura	Morada	Proprietário	Condições	Data	Constru	Constru	Cota	Unidade hidrogeológica local
1	Carvalhal	UFCSJP	SMF	144	Nascente da D. Rosa	S/R	D. Rosa	Más	S/R	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	219	Gnaisses, migmatitos e graniti
2	Monte Grande	Fiães	SMF	143	Nascente do Monte	S/R	S/R	Más	S/R	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	209	Gnaisses, migmatitos e graniti
3	Azenha	Lourosa	SMF	143	Presinha da Azenha	S/R	S/R	Más	S/R	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	285	Gnaisses, migmatitos e graniti
4	Monte Grande	Fiães	SMF	143	Nascente do Monte Gra	S/R	S/R	Más	S/R	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	285	Gnaisses, migmatitos e graniti
5	Monte Grande	Fiães	SMF	143	Nascentem do Monte Gr	S/R	S/R	Más	S/R	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	182	Gnaisses, migmatitos e graniti
6	Azenha	Lourosa	SMF	143	Nascente da Azenha	S/R	Sr. Lucínio	Boas	S/R	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	183	Gnaisses, migmatitos e graniti
7	Azenha	Lourosa	SMF	143	Presa da Azenha	S/R	S/R	Más	S/R	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	209	Gnaisses, migmatitos e graniti
8	Vendas de Bai:	Lourosa	SMF	143	Nascente dos Malmequ	S/R	Rancho dos M	Boas	S/R	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	221	Gnaisses, migmatitos e graniti
9	Vendas de Bai:	Lourosa	SMF	143	Fonte da Corga	Urbanizaçã	JF Lourosa	Boas	1986	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	190	Gnaisses, migmatitos e graniti
10	Arcozelo	UFCSJP	SMF	144	Chafariz Caldas de São J	Rua de Arc	JF Caldas São J	Boas	1995	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	269	Xistos, grauvaques e complex
11	Redondo	Fiães	SMF	143	Fonte do Redondo	Rua Centra	JF Fiães	Boas	S/R	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	159	Gnaisses, migmatitos e graniti
12	Redondo	Fiães	SMF	143	Tanque da Ponte Nova	Rua Centra	JF Fiães	Boas	S/R	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	286	Gnaisses, migmatitos e graniti
13	Regadio	Fiães	SMF	144	Fonte do Regadio	Rua da Fon	JF Fiães	Boas	1951	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	285	Xistos, grauvaques e complex
14	Sé	UFCSJP	SMF	144	Fonte da Igreja	Avenida d	CM Feira	Boas	1963	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	250	Xistos, grauvaques e complex
15	Carvalhal	UFCSJP	SMF	144	Fonte de Ribes	Rua de Rib	CM Feira	Boas	S/R	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	230	Aluviões
16	Vendas de Bai:	Lourosa	SMF	143	Nascente do Sr. Adrian	Travessa d	CM Feira	Boas	S/R	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	250	Gnaisses, migmatitos e graniti
17	Aldeiro	Lourosa	SMF	143	Nascente do Aldeiro	Rua dos Fo	S/R	Más	S/R	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	214	Gnaisses, migmatitos e graniti
18	Aldeiro	Lourosa	SMF	143	Fonte do Giestal	Rua dos Fo	CM Feira	Más	1916	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	250	Gnaisses, migmatitos e graniti
19	Além	Lourosa	SMF	143	Nascente de Além	Rua da Lag	JF Lourosa	Boas	S/R	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	238	Gnaisses, migmatitos e graniti
20	Além	Lourosa	SMF	143	Lavadouro de Além	Rua da Lag	JF Lourosa	Boas	S/R	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	160	Gnaisses, migmatitos e graniti
21	Além	Lourosa	SMF	143	Fonte de Além	Rua da Lag	S/R	Boas	S/R	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	163	Granito de grão médio a fino e
22	Além	Lourosa	SMF	143	Fontanário da Cova	Travessa d	CM Feira	Boas	1962	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	163	Gnaisses, migmatitos e graniti
23	Vilar	Fiães	SMF	143	Fonte do Chão do Rio	Rua do Chê	JF Fiães	Boas	S/R	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	223	Granito de grão médio a gross

## Anexo 2 - Estruturação da Base de Dados PFCUíma

ID	Lugar	Freguesia	Concelho	Nº Carta Militar	Nome da Estrutura	Morada da Estrutura	Proprietário	Contacto	Tipologia	Tipo	Características
1	Monte Grande	Fiães	SMF	143	Grupo Piedade	Avenida Zona Industrial	S/R	S/R	Pontual	21	Cortiça e derivados
2	Monte Grande	Fiães	SMF	143	CMB, Lda	Avenida Zona Industrial	Sr. Carlos	S/R	Pontual	10	Lubrificantes
3	Ferradal	Fiães	SMF	143	Cortiças Vicente, Lda	Travessa S. João	Sr. Vicente	S/R	Pontual	21	Cortiça e derivados
4	Monte Grande	Fiães	SMF	143	Eurogalva	Avenida Zona Industrial	S/R	S/R	Pontual	21	Metais e derivados
5	Monte Grande	Fiães	SMF	143	PNB, Lda	Avenida Zona Industrial	S/R	S/R	Pontual	21	Metais e derivados
6	Soutelo	Fiães	SMF	143	Limpolar, Lda	Rua Alexandre Herculanc	S/R	S/R	Pontual	21	Produtos Químicos
7	Redondo	Fiães	SMF	143	Auto Eletrica de Fiães	Rua Monte Santa Maria	Sr. Carlos	S/R	Pontual	10	Lubrificantes
8	Passais	Fiães	SMF	143	Escola Secundária de f	Rua das Escolas	S/R	S/R	Pontual	34	S/R
9	Passais	Fiães	SMF	143	S/R	Rua das Escolas	S/R	S/R	Difusa	44	Gado e derivados
10	Engenho	Fiães	SMF	143	S/R	Rua das Escolas	S/R	S/R	Pontual	21	Cortiça e derivados
11	Engenho	Fiães	SMF	143	Tintas ZEN	Rua das Escolas	S/R	S/R	Pontual	12	Produtos Químicos
12	Gualtar	Fiães	SMF	143	S/R	Estrada Real	S/R	S/R	Pontual	21	Madeira e derivados
13	Gualtar	Fiães	SMF	143	Sopocort	Estrada Real	S/R	S/R	Pontual	21	Cortiça e derivados
14	Gualtar	Fiães	SMF	143	S/R	Estrada Real	S/R	S/R	Pontual	44	Lubrificantes
15	Vendas de Bai	Lourosa	SMF	143	S/R	Travessa dos Pardais	S/R	S/R	Pontual	21	Cortiça e derivados
16	Ferradal	Fiães	SMF	143	S/R	Rua de S. João	S/R	S/R	Pontual	21	Cortiça e derivados
17	Ferradal	Fiães	SMF	143	Peixaria Nova Avenid	Rua de S. João	S/R	S/R	Pontual	44	S/R
18	Vendas de Bai	Lourosa	SMF	143	S/R	Travessa dos Pardais	S/R	S/R	Pontual	21	Madeira e derivados
19	Espinheira	Lourosa	SMF	143	Margarida Cabeleireir	Rua dos Malmequeres	D. Margarida	S/R	Pontual	44	Produtos Químicos
20	Espinheira	Lourosa	SMF	143	S/R	Rua dos Malmequeres	S/R	S/R	Pontual	44	Lubrificantes
21	Gualtar	Fiães	SMF	143	S/R	Rua da Feira dos Dez	S/R	S/R	Pontual	13	Resíduos Sólidos
22	Gualtar	Fiães	SMF	143	Salão Avlis	Rua da Feira dos Dez	Sr. Silva	S/R	Pontual	44	Produtos Químicos
23	Gualtar	Fiães	SMF	143	Clínica Feira dos Dez	Rua da Feira dos Dez	S/R	S/R	Pontual	33	Produtos farmacêutic
24	Espinheira	Lourosa	SMF	143	Court Tennis Feira dos I	Largo da Feira dos Dez	JF Lourosa	S/R	Pontual	41	Dejetos Humanos
25	Espinheira	Lourosa	SMF	143	Anabela Salão de Cab	Largo da Feira dos Dez	D. Anabela	S/R	Pontual	44	Produtos Químicos

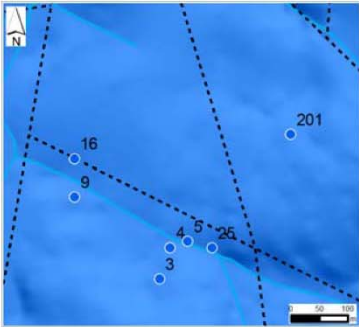

Registo: 1 de 426

Sem Filtro

Procurar



# Anexo 3 - Ficha de Inventário dos Recursos Hídricos Subterrâneos

FICHA DE INVENTÁRIO DOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS							
Nº Inventário	9	Lugar	Vendas de Baixo	Freguesia	Lourosa		
Concelho	SMF	Nº Carta Militar de Portugal 1/25000	143	Condições de Acesso	Boas		
Nome da Estrutura	Fonte da Corga	Morada da Estrutura	Urbanização da Corga				
Construção Recente	<input checked="" type="checkbox"/>	Construção Antiga	<input type="checkbox"/>	Proprietário	JF Lourosa		
				Data da Estrutura	1986		
Coordenadas Geográficas (WGS84)	Lat	40.9730	N	Long	-8.5287 W		
				Cota (m)	190		
Carta Geológica	Planta de Localização		Fotografia				
							
CONDIÇÕES DE OCORRÊNCIA							
A água emerge através:	Mina	<input checked="" type="checkbox"/>	Solo	<input type="checkbox"/>	Rocha	<input type="checkbox"/>	
					Área Alagada	<input type="checkbox"/>	
Uma Nascente	<input checked="" type="checkbox"/>	Um grupo de Nascentes	<input type="checkbox"/>	Nascente Permanente	<input checked="" type="checkbox"/>	Nascente Temporária	<input type="checkbox"/>
GEOMORFOLOGIA							
Planalto	<input type="checkbox"/>	Encosta	<input type="checkbox"/>	Vale	<input checked="" type="checkbox"/>		
ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO, HIDROGEOLÓGICO E HIDROCLIMÁTICO							
Nº Carta Geológica	13A	Bacia Hidrográfica	Rio Uíma	Tectónica	WNW - ESE		
Unidade hidrogeológica local ou regional	Gnaisses, migmatitos e granitos gnáissicos						
Litologia	Gnaisses, migmatitos						
Data	27-JAN-15	Hora	10:21:38	Cheiro	Inodoro		
				Cor	Incolor		
				Turbidez	Límpida		
Caudal (L/H)	4615,4	Medição	5 L	Temperatura da Água (°C)	13,4		
				pH	5,2		
Condutividade Elétrica (uS/cm)	80	Temperatura do Ar (°C)	4,9	Humidade Relativa (%)	87		
OUTRAS OBSERVAÇÕES							
Plantas	<input type="checkbox"/>	Animais	<input type="checkbox"/>	Algas	<input type="checkbox"/>		
				Incrustações	<input type="checkbox"/>		
				Estado da Água	Não controlada		
UTILIZAÇÃO							
Consumo Humano	<input type="checkbox"/>	Consumo Animal	<input type="checkbox"/>	Uso Agrícola	<input type="checkbox"/>		
				Uso Industrial	<input type="checkbox"/>		
				Balneoterapia	<input type="checkbox"/>		
				Sem uso	<input type="checkbox"/>		
Lavadouro Público	<input type="checkbox"/>	Fontanário	<input checked="" type="checkbox"/>				
Observações	A mina localiza-se a 50m do local das análises físico-químicas. A água excendetária abastece um lavadouro público.						
Preenchido por	Élio Silva	Verificado por	José Teixeira	Data verificação	20-04-2015		

#### Anexo 4 - Ficha de Inventário dos Potenciais Focos de Contaminação

FICHA DE INVENTÁRIO DOS POTENCIAIS FOCOS DE CONTAMINAÇÃO			
Nº Inventário	1	Lugar	Monte Grande
Tipologia	Pontual		
Freguesia	Fiães	Concelho	SMF
Nº Carta Militar de Portugal 1/25000	143	Morada da Estrutura	Avenida Zona Industrial
Nome da Estrutura	Grupo Piedade	Proprietário	S/R
Designação da Estrutura	Indústria Corticeira	Contacto	S/R
Cota(m)	250	Coordenadas Geográficas (WGS84)	Lat 40.9731 N Long -8.5213 W
Planta de Localização		Fotografia	
			
GEOMORFOLOGIA			
Planalto	<input type="checkbox"/>	Encosta	<input checked="" type="checkbox"/>
Vale	<input type="checkbox"/>		
ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO E HIDROGEOLÓGICO			
Nº Carta Geológica 1/50000	13A	Bacia Hidrográfica	Rio Uíma
Unidade Hidrogeomorfológica Local ou Regional	Gnaisses, migmatitos e granitos gnaissicos		
Litologia	Gnaisses, migmatitos		
Tectónica	NW-SE		
DESCRIÇÃO SUCINTA DO FOCO DE CONTAMINAÇÃO			
Tipo	21	Características	Cortiça e derivados
Aparências	Razoáveis		
DESCRIÇÃO DO(S) CONTAMINANTE(S)			
Tipo(s) de Contaminante(s)	Produtos Químicos		
Tipo de Descarga	Sólido e Líquido		Quantidade
S/R		S/R	
Medidas Protetoras	S/R		Problemas Aparentes
S/R		S/R	
Historial de descargas ou incidentes de contaminação	S/R		
Área(s) afetada(s) pela contaminação	S/R		
Esforços de remediação	S/R		
Observações	S/R		
Preenchido por	Élio Silva	Verificado por	José Teixeira
Data Verificação	18-05-2015		



**RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS NA BACIA DO RIO UÍMA, SANTA MARIA DA FEIRA: UM CONTRIBUTO PARA O ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO A NÍVEL MUNICIPAL.**

**GROUNDWATER RESOURCE IN THE UIMA RIVER BASIN, SANTA MARIA DA FEIRA: A CONTRIBUTION TO REGIONAL PLANNING AT THE MUNICIPAL LEVEL.**

Silva, Élio, *Faculdade de Letras da Universidade do Porto, Porto, Portugal, epqsilva@gmail.com*  
Teixeira, José, *Faculdade de Letras da Universidade do Porto e CentroBioTEC/UA / LabCarga/ISEP, Porto, Portugal, jose.aa.teixeira@gmail.com*  
Gomes, Rui, *Câmara Municipal de Castelo de Paiva, Castelo de Paiva, Portugal, rui.flupgeo@gmail.com*  
Gomes, Alberto, *Faculdade de Letras da Universidade do Porto e CEGOT, Porto, Portugal, albgomes@gmail.com*

**RESUMO**

Seguindo uma abordagem multidisciplinar, apresentam-se os resultados de um inventário de recursos hídricos subterrâneos num setor da bacia do Rio Uíma, Santa Maria da Feira. O desenvolvimento de uma ficha de inventário que inclui vários aspetos hidrogeológicos foi essencial para se interpretar a distribuição das nascentes na área de estudo.

Assim, foram localizadas 210 nascentes numa área de 23,5km<sup>2</sup>, estando distribuídas heterogeneamente por 8 freguesias. Os resultados do inventário revelam uma concentração de nascentes a determinadas altitudes, nomeadamente entre os 120 e os 150 metros. Relativamente aos parâmetros físico-químicos, a condutividade elétrica varia entre 36 µS/cm e 556 µS/cm, o pH entre 2,9 e 7,2, e a temperatura da água entre 9,5°C e 17,2°C.

Finalmente, o trabalho de campo efetuado na área de estudo e a análise dos dados em gabinete salienta a importância da inventariação e conhecimento dos recursos hídricos subterrâneos, como um importante contributo para o melhoramento do ordenamento do território à escala municipal.

**ABSTRACT**

Following a multidisciplinary approach, we present the results of an inventory of groundwater resources in a sector of the Uíma river watershed, Santa Maria da Feira. The development of an inventory sheet which includes several hydrogeological aspects was essential to interpret the distribution of springs in the study area.

Thus, 210 springs were located in an area of 23,5km<sup>2</sup>. The inventoried springs reveals a concentration at certain altitudes, particularly, between 120 and 150metres. For the physical-chemical parameters, the electrical conductivity varied between 36 µS/cm to 556 S/cm, the pH between 2.9 and 7.2, and the temperature of water between 9,5°C and 17,2°C.

Finally, the fieldwork performed in the study area and the cabinet data analysis emphasizes the importance of making inventories of groundwater resources in order to contribute for the improvement of spatial planning at the municipal level.

**Palavras-chave:** Recursos Hídricos Subterrâneos; Base de Dados; SIG

**Keywords:** Groundwater Resources; Data base; GIS

## INTRODUÇÃO

A água tem ao longo da história um papel crucial na subsistência da humanidade, condicionando o desenvolvimento de vastas regiões (Fetter, 2001). A sua proteção e preservação são importantes não só para a humanidade, como para todos os seres vivos, bem como, para o equilíbrio da Terra. O seu papel geoestratégico e geopolítico leva a que este recurso seja alvo de disputa entre países e civilizações. Segundo Fetter (2001), quase toda a água do planeta está contida nos oceanos (97%), ou seja, água salgada. Apenas uma pequena percentagem (3%) corresponde a água doce, a qual não está homogeneamente distribuída. Estima-se que as águas subterrâneas correspondam apenas a 25-30% do total de água doce, integrando a componente não visível e mais lenta do ciclo da água (Carvalho *et al.*, 2001).

A Diretiva 2000/60/CE estabelece orientações para que cada Estado-Membro *proteja, melhore e reconstitua todas as massas de água subterrâneas, evitando e limitando as descargas de poluentes (sólidos, líquidos e gasosos), para alcançar uma boa qualidade das águas subterrâneas*. No entanto, poucos benefícios económicos da exploração dos recursos hídricos são reinvestidos na gestão das águas subterrâneas, não aliviando as preocupações existentes sobre a degradação dos aquíferos e a sua sustentabilidade (Foster *et al.*, 2003). Desta forma, são necessários investimentos para a proteção da qualidade destes recursos, incluindo disposições institucionais adequadas de gestão no lado da procura, e de valorização e controle de potenciais contaminações no lado da oferta (Foster *et al.*, 2003).

O estudo que se apresenta corresponde a uma abordagem multidisciplinar sobre o tema da água subterrânea centrado nas nascentes, cujo papel é fundamental na sobrevivência das populações e nas atividades económicas e, consequentemente, no desenvolvimento da sociedade. Desse modo, pretendeu-se obter e interpretar padrões na distribuição dos recursos hídricos subterrâneos num setor da bacia do Rio Uíma, Santa Maria da Feira, relacionando a ocorrência de nascentes com diversos aspetos da área, nomeadamente, com dados hidrogeológicos, geomorfológicos e hidroclimatológicos.

## METODOLOGIA

Em termos de recursos hídricos, o inventário de emergências e a modelação de fluxo da água subterrânea constituem metodologias importantes de suporte à gestão e ordenamento do território (Carvalho, 2006; Carneiro *et al.*, 2010; Teixeira, 2011; Gomes, 2014).

Assim, a primeira fase do estudo correspondeu a trabalho de gabinete, desenvolvendo-se uma base de dados destinada à inventariação de nascentes. Esta base apoiou-se na construção de uma ficha-inventário que incluiu os seguintes elementos: condições de acesso, localização, enquadramento geológico, hidrogeológico e hidroclimático, hidrotoponímia, geomorfologia, topografia e utilização/uso das nascentes (consumo humano, uso agrícola...). Neste documento sintetizam-se informações relativas às características da água, sobretudo, a cor, o cheiro e a medição do caudal (L/s), assim como a medição de parâmetros físico-químicos como a condutividade elétrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), a temperatura da água ( $^{\circ}\text{C}$ ) e o pH. Relativamente à componente climatológica, incluiu-se a temperatura do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ) e a humidade relativa (%), parâmetros obtidos diariamente pela Estação Meteorológica de Arouca e disponibilizados pelo Instituto Português do Mar e Atmosfera. Adicionou-se também informações sobre o contexto litológico em que cada nascente está inserida.

A segunda fase correspondeu ao trabalho de campo, percorrendo o território da área de estudo, inquirindo os habitantes e agricultores, o que permitiu a identificação mais exaustiva das nascentes, assim como a colheita dos dados fundamentais para as fichas de inventário.

Posteriormente, com os dados obtidos, gerou-se uma base de dados espacial (SIG), com a qual se realizaram algumas operações de análise espacial e a produção de diversa cartografia temática de apoio ao ordenamento do território.

## ENQUADRAMENTO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo foca-se na área intermédia da bacia hidrográfica do Rio Uíma inserida no concelho Santa Maria da Feira (Figura 1).

O Rio Uíma nasce no Monte Alto (a ca. de 350m de altitude) no lugar de Duas Igrejas, freguesia de Romariz (Santa Maria da Feira) e desagua no Rio Douro em Crestuma (Vila Nova de Gaia), percorrendo cerca de 35km. A sua bacia é alongada, estreita e está orientada de Sul para Norte. É alimentado por uma densa e extensa rede hidrográfica constituída por inúmeros afluentes de carácter permanente e temporário.

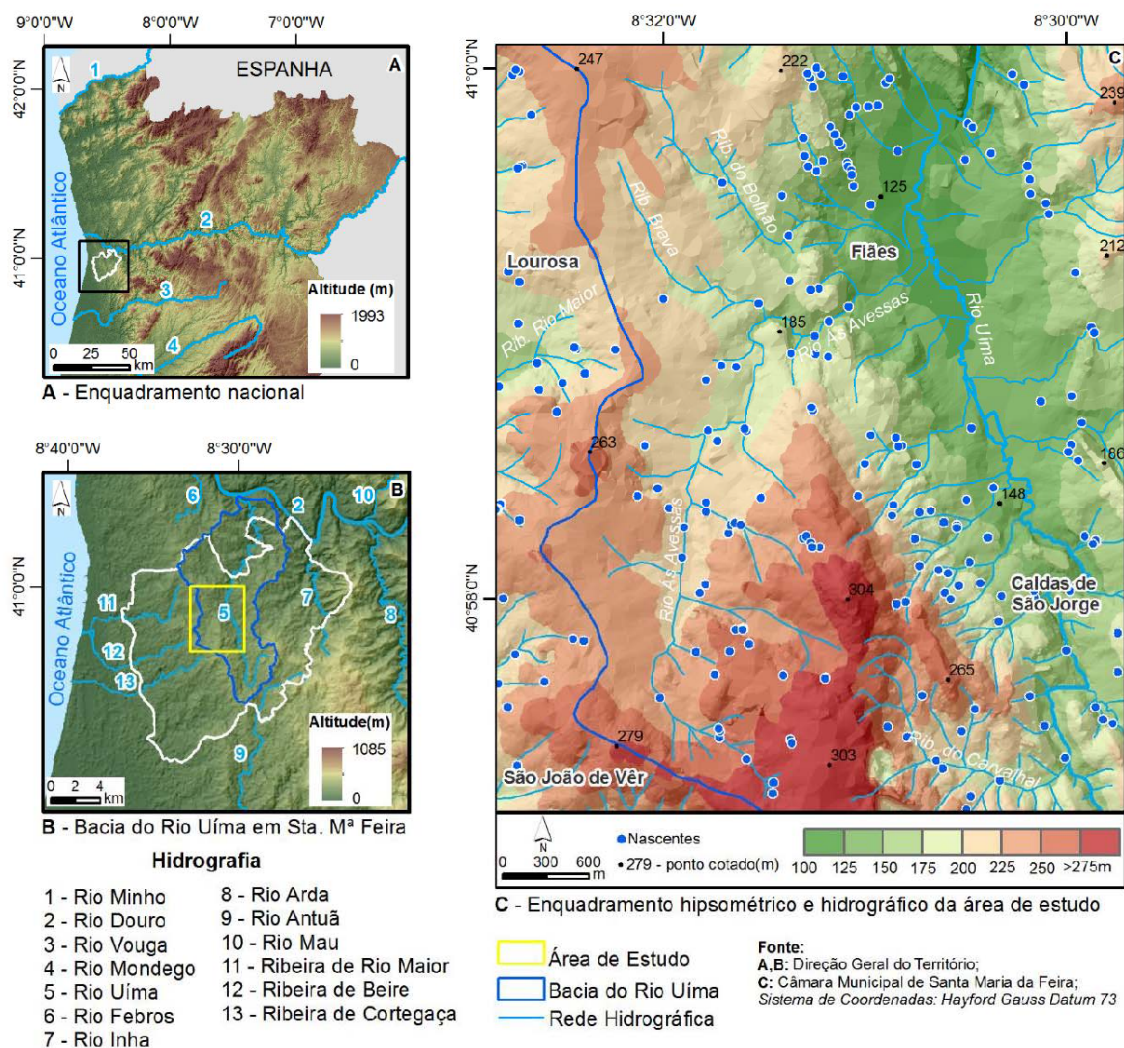


Figura 1 – Enquadramento da Área de Estudo

## RESULTADOS

Os dados obtidos com o inventário revelam uma distribuição heterogênea das nascentes por uma área de 23,5 km<sup>2</sup>, tendo sido localizadas 210 nascentes, das quais 62 em Fiães, 46 na União de Freguesias das Caldas de São Jorge e Pigeiros, 33 em Lourosa, 29 na União de Freguesias de Lobão, Gião, Louredo e Guisande, 28 em São João de Vêr, 7 em Sanguedo, 4 em Mozelos e 1 na União de Freguesias de Canedo, Vale e Vila Maior (Figura 1 - C).

A figura 2 mostra o valor acumulado (em %) das nascentes, assim como o valor acumulado (em %) do território segundo a altitude. Tendencialmente, verifica-se que a cota das nascentes acompanha a curva da hipsometria. No entanto, constata-se que existe uma predominância de concentração de nascentes a determinadas cotas, nomeadamente entre os 120 e os 150 metros.

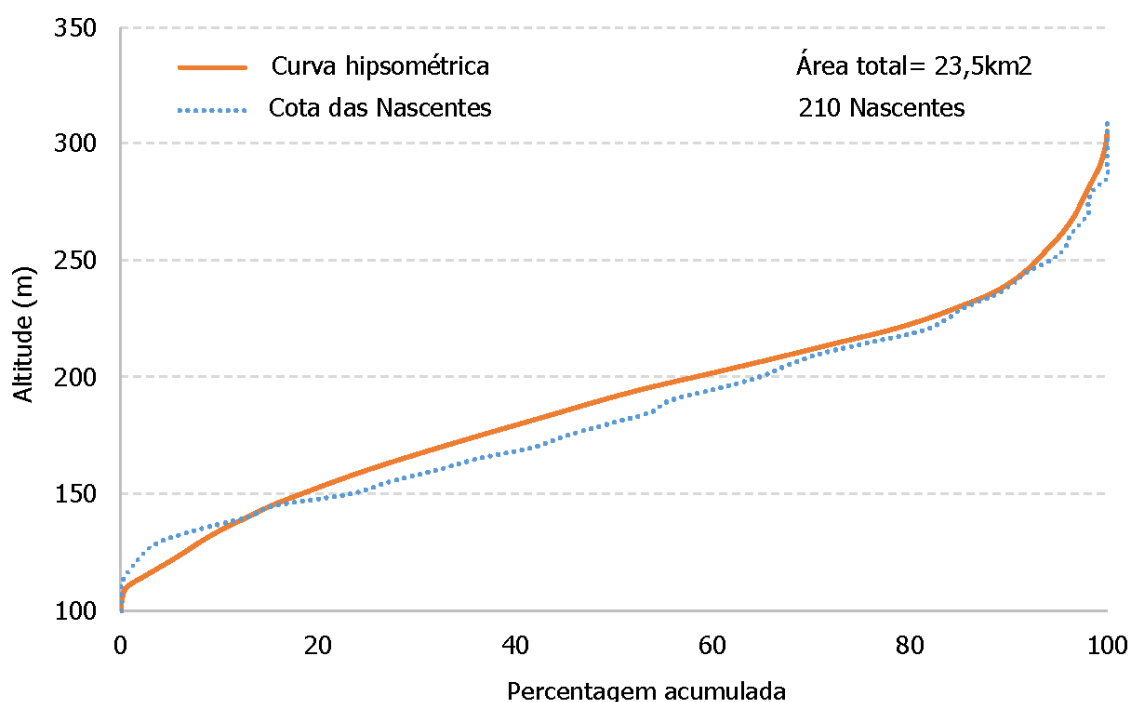


Figura 2 – Distribuição das nascentes e do território por altitude.

Nas nascentes inventariadas, a condutividade elétrica variou entre 36  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e 556  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , o pH entre 2,9 e 7,2, e a temperatura da água entre 9,5°C e 17,2°C (Figura 3). Contudo, em 22 nascentes não foi possível medir nenhum dos parâmetros referidos. Quanto à situação topográfica das nascentes existe um predomínio de emergências localizadas na “encosta” (185), das quais 108 se encontram em vertentes convexas e 77 em vertentes côncavas. No fundo dos vales registaram-se apenas 25 nascentes. Relativamente às unidades hidrogeológicas locais e regionais, indicadas por Carvalho (2006), verifica-se uma grande concentração de nascentes (125) nos gnaisses, migmatitos e granitos comparativamente com as outras unidades.

Relativamente ao tipo de emergência da água existe um predomínio da emergência à superfície guiada por minas, correspondendo a 173 nascentes. Quanto ao caudal das nascentes, somente foi possível medi-lo em 47 nascentes, variando entre 5,6 a 8571,4 L/h.



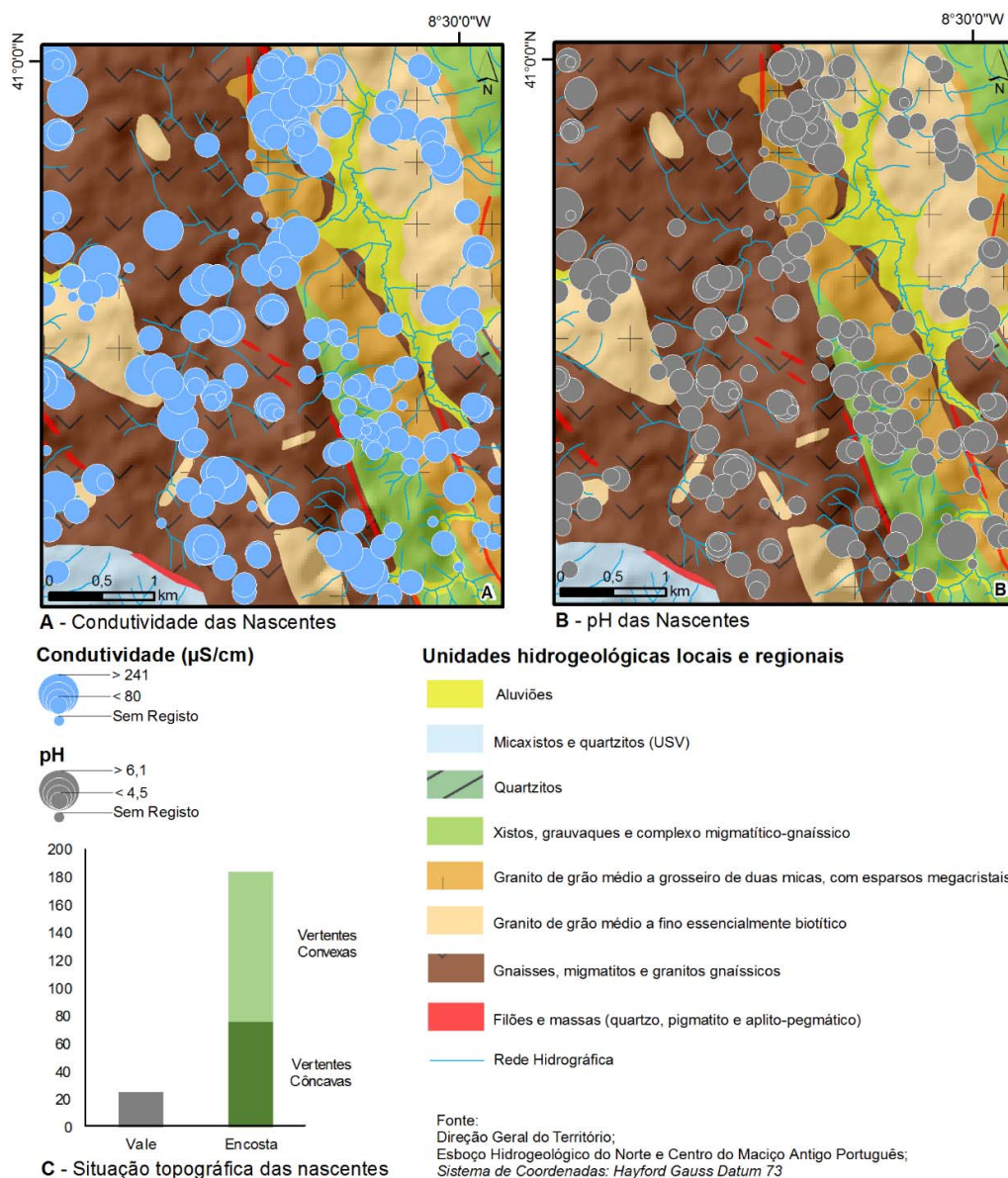


Figura 2 – Localização das nascentes face às unidades hidrogeológicas, medições da condutividade (A) e do pH (B), situação topográfica das nascentes (C).

## DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

O trabalho de campo efetuado e a análise preliminar dos dados colhidos suscitam uma série de questões relativas à distribuição das emergências de água subterrânea. Desta forma, um ponto a explorar de forma mais aprofundada consiste na destrição de padrões de distribuição das nascentes, não só a nível geral, mas também em casos mais concretos, como é exemplo o fundo do vale do Rio Uíma.

Outro tema a ser aprofundado, incide na distribuição das nascentes segundo a altitude, relacionando-a com as formas das vertentes (côncavas/convexas) e a localização das nascentes a meia encosta, como hipóteses interpretativas do funcionamento do sistema de recarga e descarga dos aquíferos fissurados e/ou superficiais nas áreas de transição da

situação topográfica. Relacionado com este tema, serão aprofundados alguns estudos referentes à relação entre os potenciais focos de contaminação com a localização das nascentes, principalmente em áreas próximas das Termas das Caldas de São Jorge, de modo a verificar a sua vulnerabilidade à contaminação e na identificação de elementos expostos.

Com este estudo pretende-se alertar para a importância da inventariação e conhecimento dos recursos hídricos subterrâneos, de forma a contribuir para a sua valorização, gestão e proteção adequada, criando suportes cartográficos e bases de dados que apoiem os processos de decisão, contribuindo assim, para melhoramento do ordenamento do território à escala municipal.

## **BIBLIOGRAFIA**

- Carneiro, J; Carvalho, J M (2010) Groundwater modelling as an urban planning tool: issues raised by a small-scale model. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 43(2), 157-170.
- Carvalho, J M (2006) *Prospecção e pesquisa de recursos hídricos subterrâneos no Maciço Antigo Português: Linhas metodológicas*. Tese de Doutoramento, Universidade de Aveiro, Aveiro.
- Carvalho, J M; Amador F (2001) *Cadernos Didácticos de Ciências*. Ministério da Educação, Lisboa.
- CE (2000) *Diretiva 2000/60/CE do Parlamento Europeu e do Conselho Europeu de 23 de Outubro de 2000*. Estabelece o Enquadramento para as Acções Comunitárias no Domínio da Política da Água. Jornal Oficial 22 de Dezembro de 2000 L 327/1. Bruxelas: Comissão Europeia.
- Fetter, C (2001) *Applied hydrology*. 4th edition, Prentice-Hall.
- Foster, S S D; & Chilton, P J (2003) *Groundwater: the processes and global significance of aquifer degradation*. Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B-Biological Sciences, 358(1440), 1957-1972.
- Gomes, R (2014) – *Recursos Hídricos Subterrâneos: Inventário, Cartografia SIG, Metodologia e Potencialidades - Caso de Estudo: Bacia da Ribeira de Sá, Sardoura, Castelo de Paiva*. Dissertação de Mestrado, Universidade do Porto, Porto.
- Teixeira, J (2011) – *Hidrogeomorfologia e sustentabilidade de recursos hídricos subterrâneos*. Tese de Doutoramento, Universidade de Aveiro e Universidade do Porto, Aveiro e Porto.